

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zařízení pro využití akumulovaného tepla ve vývalcích

Arrangement for usage accumulate warm in shapes

Student: Bc. Petr Mikula
Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2010

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Mikula**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: Zařízení pro využití akumulovaného tepla ve vývalcích
Arrangement for Usage Accumulate Warm in Shapes

Zásady pro vypracování:

Při zpracování projekčního návrhu zařízení vycházejte z dostupných informací o výkonu válcovací tratě Kvarto 3,5. V rámci řešení specifikujte možnosti měření, řízení a archivace průběhu veličin ovlivňujících celý teplo-směnný proces.
Při návrhu zařízení využijte 3-D modelování a vizualizace, při řešení teplotních a napěťových polí v konstrukčních prvcích dostupný SW MKP. Pozornost věnujte návrhu teplo-směnné sekce zařízení, včetně možného využití principu tepelných trubic.

Proveďte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a potřebnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční, orgánová a stavební struktura.
2. Konstrukční návrh zařízení ve 3-D modelu.
3. Výrobní výkresovou dokumentaci teplo-směnné sekce zařízení.

min. 40 stran textu včetně max. 5-ti stran výtahu z Diplomového projektu – mimo přílohy, rozsah přílohy výkresové části min. 2 A0

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka*. Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 11.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Anotace bakalářské práce

MIKULA, P. *Zařízení pro využití akumulovaného tepla ve vývalcích: Diplomová práce.* Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 58 s., vedoucí Ing. Noga, Z. CSc.

Diplomová práce se zabývá návrhem tepelného výměníku. Výměník je přizpůsoben válcovací trati 3,5 Kvarto ve firmě Evraz Vítkovice Steel a.s. V diplomové práci je znázorněno několik konstrukčních variant. Po konzultacích byla rozpracována ta nejvýhodnější. Na základě spolupráce s firmou Evraz Vítkovice Steel a.s. se snažím navrhnout nový výměník, který bude odpovídat funkčním potřebám. Výkresová dokumentace je v příloze diplomové práce.

Annotation of master thesis

MIKULA, P. *Arrangement for usage accumulate warm in shapes. Master thesis.* Ostrava: VŠB- Technical university of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Department of production machines and design, 2010, 58 s., thesis head: Ing. Noga, Z. CSc.

The diploma thesis deals with a heat exchanger design. The exchanger is adapted to rolling mill 3,5 Kvarto in Evraz Vítkovice Steel a.s. company. The thesis illustrates some design variants. After the consultations was the best variant developed. I am trying to design a new heat exchanger, based on collaboration with Evraz Vítkovice Steel a.s., which will correspond to their functional needs. The drawings are attached in the Annex to this thesis.

Obsah diplomové práce

SEZNAM POUŽITÉHO OZNAČENÍ	8
ÚVOD	9
NÁVRH ZAŘÍZENÍ	10
VARIANTY ŘEŠENÍ:	13
POŽADAVKOVÝ LIST NA ZAŘÍZENÍ	15
FUNKČNÍ STRUKTURA	16
MORFOLOGICKÁ MATICE	16
ORGÁNOVÁ STRUKTURA	17
HRUBÁ STAVEBNÍ STRUKTURA.....	18
VÝPOČTY	23
EXISTUJÍCÍ DÍLY VÝMĚNÍKU	50
VÝSLEDNÝ POHLED NA NAVRHOVANÉ ZAŘÍZENÍ	53
SEZNAM LITERATURY	55
PŘÍLOHY	57

Seznam použitého označení

A, n	součinitele pro hladké potrubí	[-]
C_0	součinitel záření absolutně černého tělesa	[W.m ⁻² .K ⁻⁴]
D_h	hydraulický průřez	[m ²]
F	síla	[N]
Nu	Nuseltovo číslo	[-]
P	tepelný tok	[W]
Q	tepelný výkon	[J]
Q_c	průtok čerpadla	[m ³ .s ⁻¹]
Pr	Prandtlovo číslo	[-]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S	plocha	[m ²]
T	teplota	[K]
b, l, h, r	rozměr – šířka, délka, výška, poloměr	[m]
c_p	měrná tepelná kapacita	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
f	součinitel smykového tření	[-]
g	tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
k	součinitel prostupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
m	hmotnost	[Kg]
\dot{m}	průtočná hmotnost	[Kg.s ⁻¹]
n	počet	[-]
p	tlak	[MPa]
Δp	tlaková ztráta	[MPa]
q	hustota radiačního toku	[W.m ⁻²]
w	rychlost	[m.s ⁻¹]
α	součinitel přestupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
ε	součinitel poměrné pohltivosti	[-]
ε_s	opravný součinitel	[-]
ξ_c	celkový ztrátový součinitel	[-]
ν	kinematická viskozita	[m ² .s ⁻¹]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ	hustota	[Kg.m ⁻³]
σ	napětí	[MPa]
φ_{12}	úhlový součinitel přenosu tepla zářením	[-]

Úvod

Odpadní teplo je dnes často vypouštěno do atmosféry. Technologie výměníků, rekuperátorů a regenerátorů nabízí přeměnu tohoto nevyužitého zdroje tepla do využitelné formy energie. Takto zachycené teplo může být využito v řadě aplikací v závislosti na požadavcích výrobního procesu – například k vytápění budov a hal, předehřevu spalovacího vzduchu, ohřevu vody a výrobě elektrické energie. Úspora energie v současnosti nabývá na významu a firmy začínají uvažovat o úsporných projektech, které by se před lety ještě nevyplatily.

Cíle práce

Cílem této práce je navrhnout a konstrukčně zpracovat tepelný výměník určený pro válcovací trať 3,5 Kvarto ve firmě EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s. Hlavním úkolem, po konzultacích s vedoucím diplomové práce, bude přeměna odpadního tepla v teplou užitkovou vodu (dále jen TUV). S ohledem na stávající technologii, materiály, normy a nízkou finanční náročnost se pokusím na základě nezbytných pevnostních výpočtů navrhnout nový výměník, včetně dvou výkresů sestavení.

Návrh zařízení

- Zjištěné parametry z exkurze

Max. a min. teplota v hale

V letním období 30 až 40 °C. Při odstávce v zimním období může teplota mírně klesnout pod 0°C.

Max. rychlost proudění vzduchu v uvažovaném místě

V letním období se nechávají otevřená vrata a světlíky aby se zabránilo vzniku páry a urychlilo se ochlazování, v zimních měsících je tomu naopak.

Max. rozměry plechů a jejich výrobní kadence

- tl. 5 až 120 mm
- šířka 1 500 až 3 600 mm
- délka 4 000 až 40 000 mm
- hmotnost max. 15 t
- průměrná kadence 0,3 ks/min bez poruch

Max. teplota materiálu při válcování

Teplota materiálu se pohybuje v intervalu 1 250 až 675 °C

Max. doba prostoje plechu za válcovací stolicí při válcování

Při termomechanickém válcování až 600 sekund při poklesu teploty z 935 °C na 740 °C. Pokud dojde k poruše, stojí na místě, až do úplného zchladnutí.

Možnosti upevnění konstrukce do podlahy (opěrné body)

Valníky jsou uloženy na betonových základech, které by mohly sloužit k uchycení zařízení.

Největší zaznamenaný rozměr zvednutí okraje plechu při válcování

0,9 m

Nejběžnější materiál plechu

S355J2+N

- Princip válcování

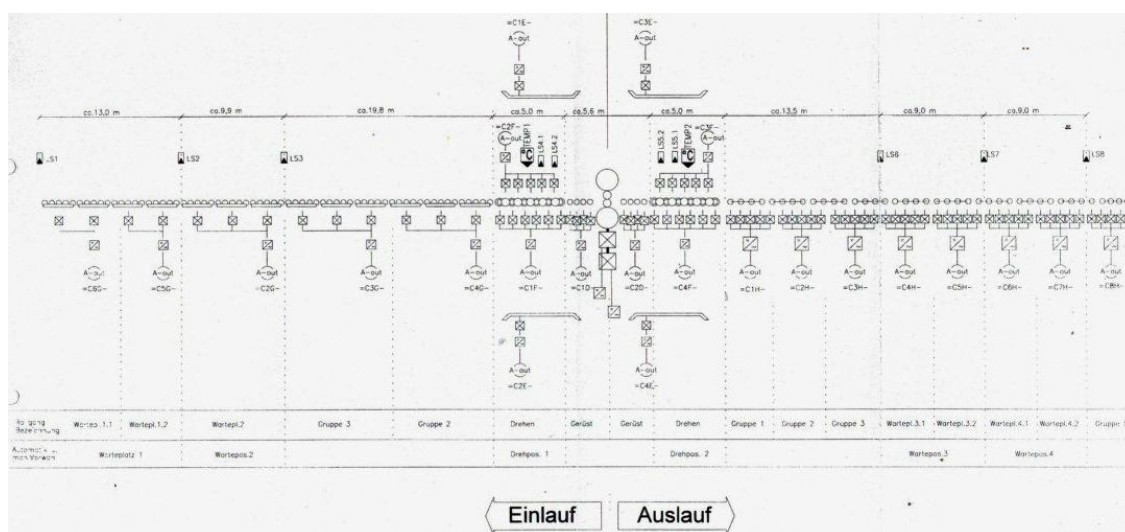
2 vývalky ve skupině

1. vývalek je rozválcován na max. délku 9 m a je odložen na Wartenplatz 3 (viz. Obr. 1)
2. vývalek je rozválcován na max. délku 9 m a oba jsou převezeny před stolicí.
2. vývalek je odložen na Wartenplatz 1 nebo 2 podle v závislosti na konečné délce prvních vývalků.
1. vývalek zůstává před stolicí a po dosažení teploty je započato s doválcováním.
2. vývalek je převezen před stolicí a po dosažení teploty je započato s doválcováním.

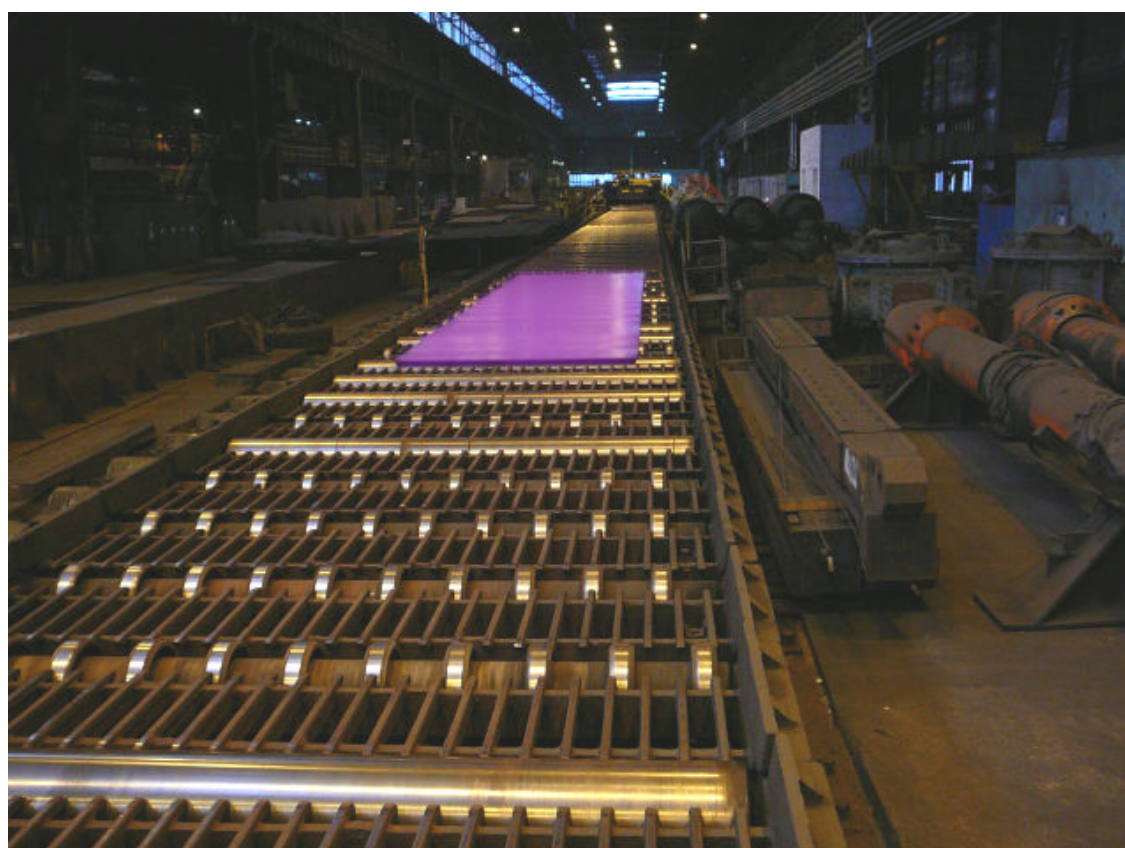
3 vývalky ve skupině

1. vývalek je rozválcován na max. délku 9 m a je odložen na Wartenplatz 4 (viz. Obr. 1)
2. vývalek je rozválcován na max. délku 9 m a je odložen na Wartenplatz 3.
3. vývalek je rozválcován na max. délku 9 m a všechny 3 jsou převezeny před stolicí.
3. vývalek je odložen na Wartenplatz 1. Druhý vývalek je odložen na Wartenplatz 2.
1. vývalek zůstává před stolicí a po dosažení teploty je započato s doválcováním.
2. vývalek je převezen před stolicí a po dosažení teploty je započato s doválcováním.
- (3. vývalek se přesune na Wartenplatz 2)
3. vývalek je převezen před stolicí a po dosažení teploty je započato s doválcováním.

Lze válcovat max. 6 ks vývalků, většinou se jedná o krátké tlusté plechy, princip je stejný jako u skupiny 3. Dojde k zaplnění celého valníku za, a potom i před, stolicí.



Obr. 1. Schéma válcovací stolice a tratě



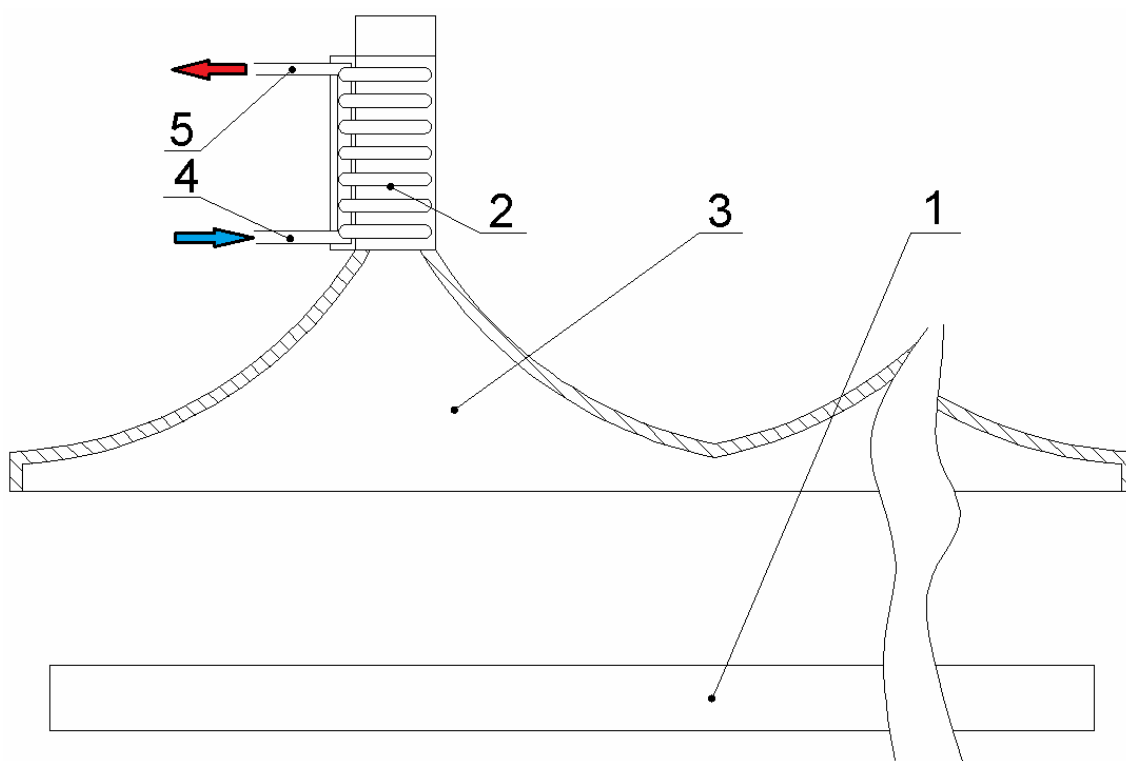
Obr. 2. Stávající stav válcovací stolice a tratě

Varianty řešení

1) Heat pipe výměník

Součástí zadání diplomové práce je možnost použití technologie tepelných trubic (dále jen HP). Tuto možnou variantu jsem konzultoval ve firmě ForSTEEL s.r.o., což je v současnosti jediná firma v ČR, která se problematikou HP zabývá.

Výsledný návrh zařízení by se skládal z plechového krytu ve tvaru komínů, umístěný nad tratí s vývalky. Na vyústění komínů by byly HP výměníky. Plechové komíny by musely být navrženy tak, aby horký vzduch procházel výměníkem co nejefektivněji, možná s použitím ventilátoru. Výhodná by byla lehká a jednoduchá konstrukce. Pořizovací cena HP výměníků je vysoká a vzhledem k velké ploše vývalků, by muselo být výměníků na zařízení více. Nekonstantní zdroj tepla, by nevyužil potenciál této technologie.

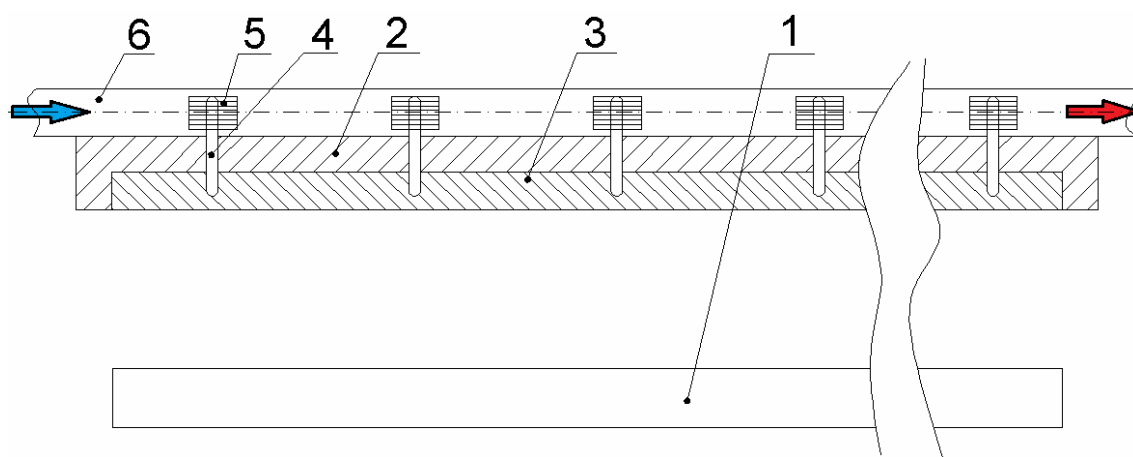


Obr. 3. Schematické znázornění varianty s Heat pipe výměníkem

1 – vývalek, 2 – HP výměník, 3 – plechový kryt, 4 – přívod vody, 5 – odvod TUV

2) Výměník s měděnými bloky

Varianta počítá s teplosměnnou plochou vyrobenou z měděných bloků, které může chladit proudící voda v kanálcích nebo technologie HP (měď má vysokou teplotní vodivost). Při celkově zastíněné ploše 72 m^2 by muselo být použito velké množství mědi. Problém by mohlo přinést zatěsnění TUV v měděných segmentech, případné použití trubic HP by mělo stejné nevýhody jako u varianty 1. Výhodou by byla vysoká účinnost přenosu tepla.

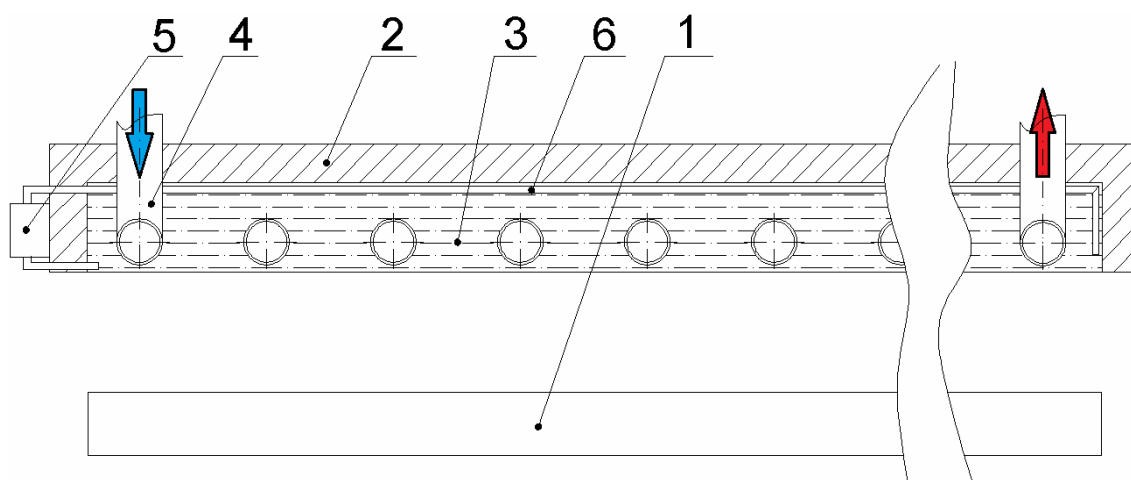


Obr. 4. Schematické znázornění varianty s měděnými bloky

1 – vývalek, 2 – izolace, 3 – měděné bloky, 4 – HP, 5 – rozvaděč tepla, 6 – potrubí pro TUV

3) Výměník s použitím akumulčního média

Pro snížení velkých výkyvů dodávaného tepla je dobré použít akumulční médium, např. vodní lázeň. Ta nám zachytí nekonstantní zdroj tepla pohybujícího se vývalku. Rychlost chladícího média v potrubí nemusí být závislá na vyzařované energii vývalku. Akumulční médium tuto energii zachytí a my ji můžeme konstantní rychlostí odvádět. Nevýhodou je složitější konstrukce.



Obr. 5. Schematické znázornění varianty s použitím akumulčního média

1 – vývalek, 2 – izolace, 3 – nerez vana s vodou, 4 – potrubí pro TUV, 5 – oběhové čerpadlo, 6 – potrubí pro oběh vnitřního okruhu

Požadavkový list na zařízení

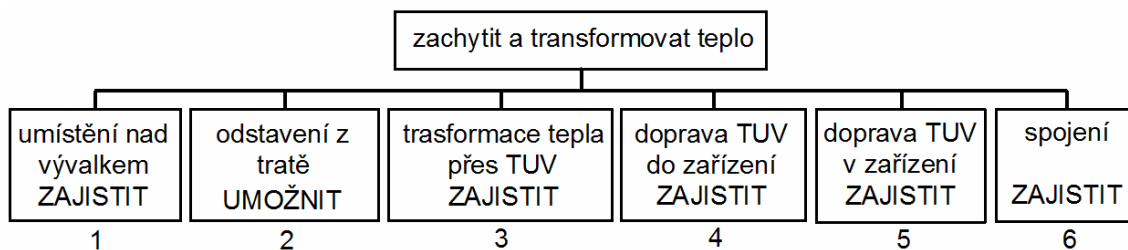
Konstrukce:

- Neochlazovat vývalek
- Účinné pohlcení sálajícího tepla
- Transformace tepla v TUV
- Nadimenzování pro maximální zátěž
- Antikorozní povrchová úprava
- Žáruvzdorný materiál
- Vizuální kontrola vývalků pod zařízením

Bezpečnost:

- Bezpečnostní požadavky
- Teplota pláště v přijatelných hodnotách
- Možnost rychlého odstavení z polohy nad valníkem

Funkční struktura



Obr. 6. Funkční struktura

Morfologická matice

Tab. 1. Morfologická matice

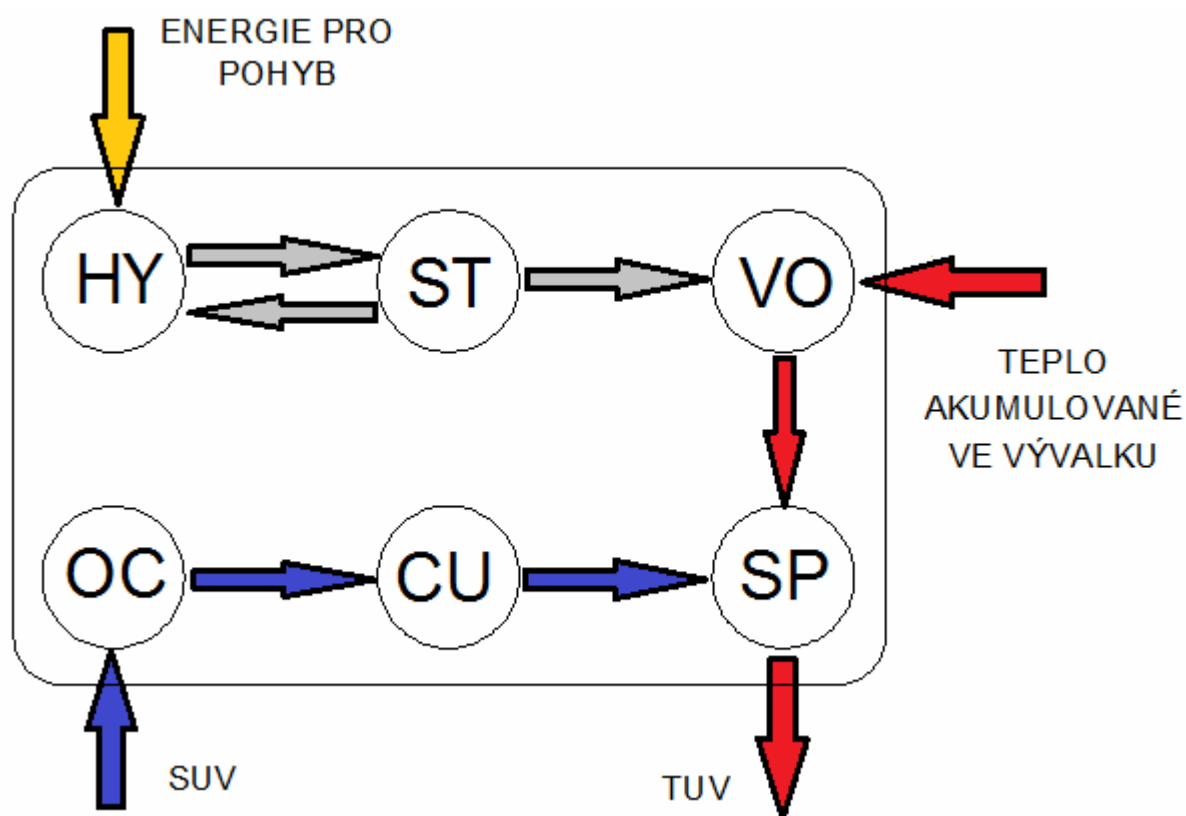
	Funkce	Orgán			
		1	2	3	4
1	Umístění nad vývalkem	Zavěsit na konstrukci haly	Ustavit na vlastní opěru		
2	Odstavit z tratě při poruše	Přesunout jeřábem	Mechanické zařízení	Hydraulické zařízení	Pneumatické zařízení
3	Transformace tepla do TUV	HP výměníky	Přes mezičlánek – měděné bloky	Přes mezičlánek – vana s vodou	Přímý ohřev potrubí
4	Doprava TUV do zařízení	V potrubí	V hadicích	Ve žlabech	Kombinace
5	Doprava TUV v zařízení	V potrubí	V hadicích	Kombinace	
6	Spojovací zařízení bodu 4 a 5	Rychlospojka	Šroubení	Svar	

Z morfologické matice vybereme nejvhodnější řešení pro dané řešení. Z matice vycházíme při sestavení orgánové struktury (viz. obr. 7).

Orgánová struktura

Tab. 2. Orgánová struktura

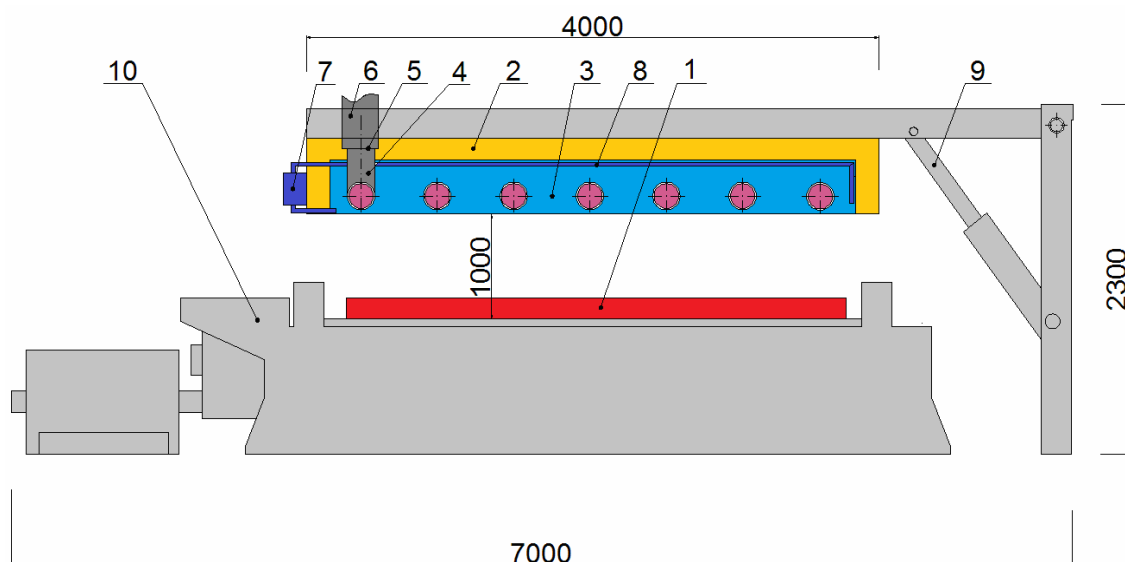
	Funkce	Orgán	Zn.
1.	Ustavení v pracovní poloze	Stojna výměníku	ST
2.	Odstavení z tratě	Hydraulický válec	HY
3.	Transformace tepla	Vodní lázeň	VO
4.	Doprava TUV do zařízení	Ocelové potrubí	OC
5.	Doprava TUV V zařízení	Měděné potrubí	CU
6.	Spojení obou potrubí	Spojka ocel-měď	SP



Obr. 7. Orgánová struktura

Po konzultacích, vybírám pro svůj návrh variantu č. 3, výměník s použitím akumulačního média. Jako jediná má schopnost akumulace tepla, které můžeme následně konstantní rychlostí odvádět ve formě TUV.

Hrubá stavební struktura



Obr. 8. Hrubá stavební struktura

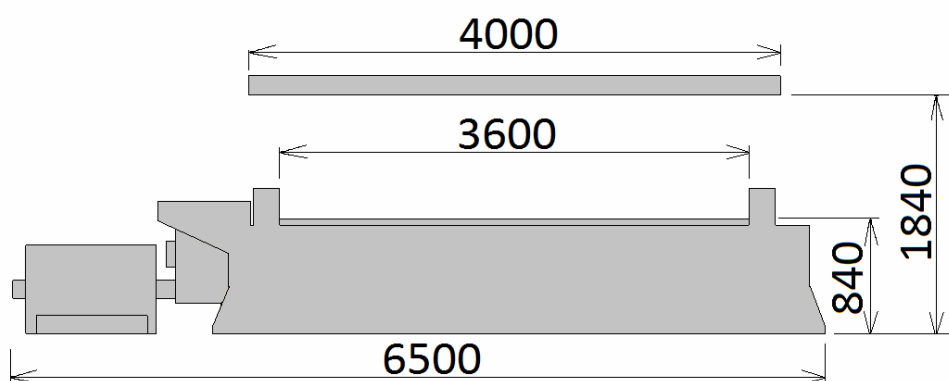
1 – vývalek, 2 – izolace, 3 – nerez vana s vodou, 4 – vnitřní měděné potrubí pro TUV, 5 – spojka potrubí ocel-měď, 6 – vnější ocelové potrubí pro TUV, 7 – oběhové čerpadlo, 8 – potrubí pro oběh vnitřního okruhu, 9 – hydraulický válec, 10 – válcovací trať

Hrubá stavební struktura nám dává hrubou představu o funkcích a vybavení zařízení. Zatím nevíme žádné konkrétní údaje, např. jaký typ nosníků použijeme, kolik bude ve výměníku vody, jaká bude hmotnost,... Na tyto otázky si odpovíme v následující kapitole vlastní návrh řešení a výpočtové části.

Vlastní návrh řešení

Návrh umístění

Na konzultacích bylo rozhodnuto, že navrhované zařízení bude umístěno nad valníkovou částí Wartenplatz 3 a 4 (viz. Obr. 1). Každá sekce má délku 9 metrů, proto volím 2 stejné segmenty o této délce. Šířka tratě je 3,6 metrů, volím šířku výměníku 4 metry. Valník je vzhledem k podlaze ve výšce 0,84 metru. Maximální zvednutí předního okraje válcovaného plechu po válcování je do 0,9 metru, proto volím bezpečnou mezeru mezi vývalkem a zařízením 1 metr. Výška teplosměnné plochy výměníku od podlahy je proto 1,84 metru.



Obr. 9. Schéma umístění výměníku

Návrh ohřevu TUV

Vybraná varianta je velká vodotěsná nádrž. V nádrži je jako akumulační médium destilovaná voda (při teplotách nad 50 °C se z obyčejné vody usazují látky), ta přijme teplo z vývalku pod ní. Teplota v hale může při odstávce klesnout pod bod mrazu (viz. str. 10), proto by voda měla být ošetřena i nemrznoucí přísadou. Voda se plní otvorem, na horní části výměníku u protilehlé strany od čerpadel, opatřeným těsnícím víčkem. Ve vodě je zcela ponořeno měděné potrubí, kterým za určitých podmínek protéká studená užitková voda. Z bezpečnostních důvodů je ve výměníku takové množství vody, které pohltí teplo z největšího vyráběného vývalku a teplota vody nepřesáhne 80 °C, při nefunkčním chladícím okruhu TUV.

Ze strany 9 vyplývá, že zařízení má produkovat TUV, tzn. podle vyhlášky č. 194/2007, § 4 Sb. Ministerstva průmyslu musí výstupní teplota vody dosahovat minimálně 45 °C a maximálně 60 °C. V praxi se používá systém ohřevu TUV na nižší teplotu do akumulační nádrže, kde při odběru vody dochází k průtokovému dohřevu. Po konzultacích s vedoucím diplomové práce ale vyplynulo, že už samotné zařízení musí produkovat TUV, což je značná komplikace.

V zadání není specifikováno, kde bude docházet ke spotřebě TUV. Proto uvažuji, že ke spotřebě dochází přímo v hale a z tohoto důvodu můžeme zanedbat teplotní ztráty při transportu vody potrubím na místo určení. Ohřev vody ve výměníku však není konstantní a při nepřetržitém proudění užitkové vody nedosáhneme předepsanou teplotu pro TUV. Proto se čerpadlo s okruhem TUV bude spouštět termostatem při teplotě vody ve výměníku minimálně 50°C a vypínat při výstupní teplotě TUV v měděném potrubí 45°C.

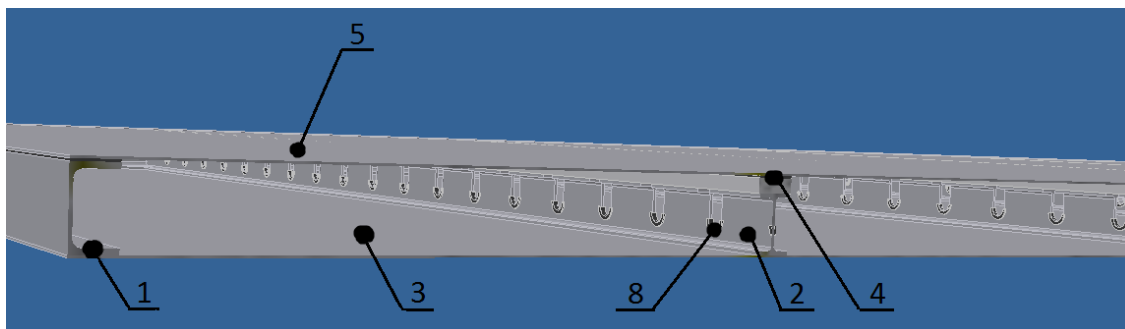
Popis konstrukce

Výměník

Vlastní výměník je tvořen svařencem obsahujícím pozinkovaný rám z profilu U 100 (viz. Obr. 10, odkaz 1), devíti příčnicí I 80 (viz. Obr. 10, odkaz 2) a nerezovými plechy tl. 3. tvořící dno (viz. Obr. 10, odkaz 3). I profily mají výřezy pro měděné potrubí a navařené šrouby pro rozebíratelné spojení víka výměníku z důvodu případných oprav.

Utěsnění víka je provedeno:

Na I profilech leží pozinkovaná pásovina s otvory pro šrouby – ta překlene výřezy pro měděné potrubí. Na pásovině a U profilu je položeno těsnění (viz. Obr. 10, odkaz 4), které zajistí vodotěsnost výměníku. Na těsnění je přišroubováno víko z nerezového plechu tl. 3 (viz. Obr. 10, odkaz 5). Celkovou tuhost výměníku zaručují podélné profily (viz. Obr. 13, odkaz 16). K jejich upevnění jsou využity shodné šrouby jako víka. Návrh šroubů, které spojují příčný profil I 80, pásovinu, těsnění, nerezový plech a podélné profily, bude řešen ve výpočtové části.

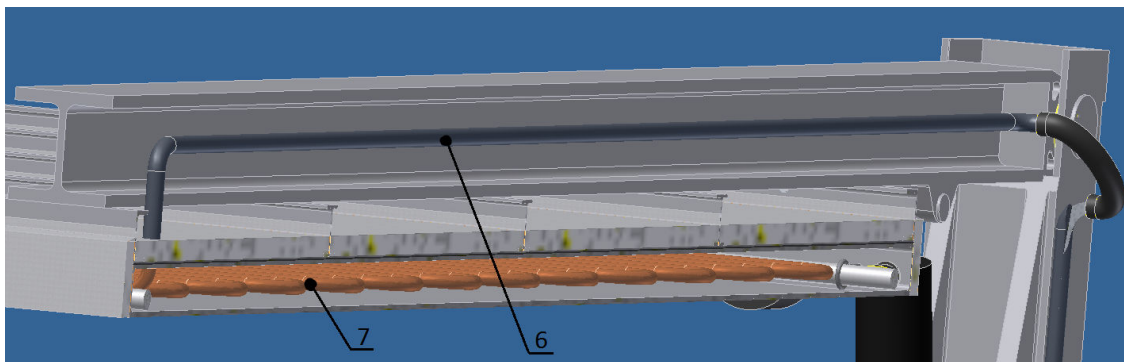


Obr. 10. Řez výměníkem

Vedení TUV

TUV přivádím v izolovaném ocelovém potrubí vnitřního průměru 26 mm (viz. Obr. 11, odkaz 6). Pomocí tvarovek, hadice a spojky ocel-měď se potrubí napojuje na měděné potrubí (viz. Obr. 11, odkaz 7) ve výměníku. Měděné potrubí leží ve výřezích v I profilu 80. Styčná plocha je opatřena gumovou podložkou (viz. Obr. 10, odkaz 8).

Z výměníku se TUV dostává opět přes spojku ocel-měď, hadici a tvarovky na místo spotřeby. Hadice je na potrubí nasunuta a zajištěna hadicovou sponou.

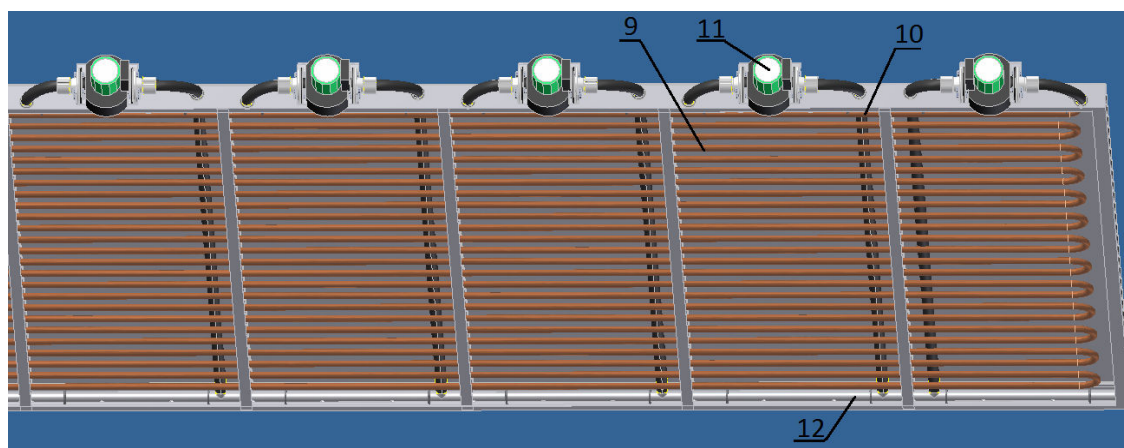


Obr. 11. Vedení potrubí pro TUV

Vnitřní vodní okruh

I profil 80 tvoří ve výměníku 10 sekcí (mezi sekcemi se může vyrovnávat vodní hladina pomocí výřezů v profilu pro měděné potrubí). Každá sekce má vlastní čerpadlo pro nucený oběh vody kolem měděného potrubí (viz. Obr. 12, odkaz 9). Voda je nasávána rozdělovačem proudu (viz. Obr. 12, odkaz 10) a pomocí hadice proudí do čerpadla (viz. Obr. 12, odkaz 11). Z čerpadla vede hadice nad měděným potrubím na druhý konec výměníku, kde je opět rozdělovač proudu (viz. Obr. 12, odkaz 12). Mezi měděným potrubím a horním krytem je mezera odpovídající vnějšímu průměru hadice, tím dosáhneme pevného usazení měděného potrubí na místě i při manipulaci s výměníkem.

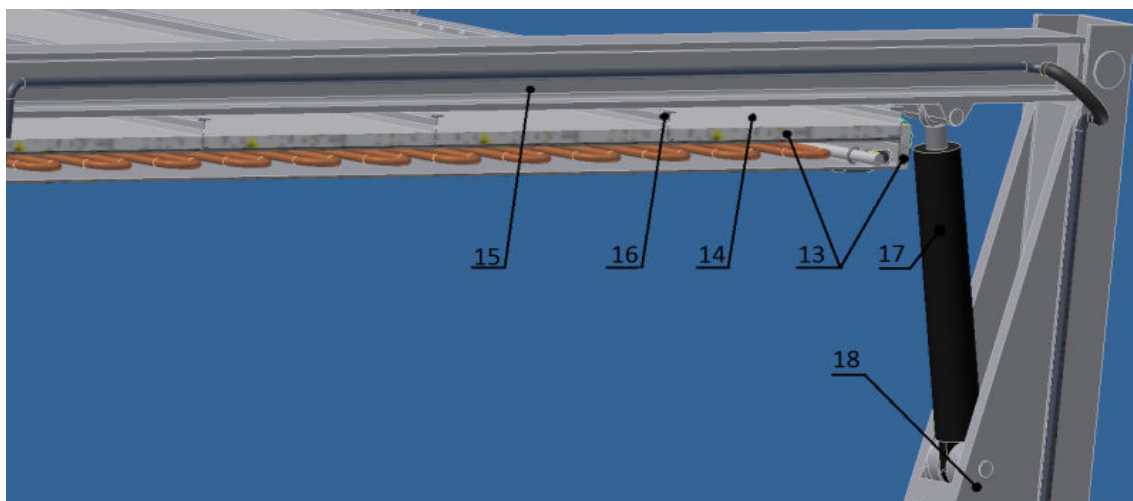
Čerpadlo je přišroubováno pomocí držáku čerpadla na podélný profil U 100.



Obr. 12. Řez výměníkem, pohled ze zdola

Tepelná izolace

Povrch výměníku (kromě teplosměnné plochy) je pokryt izolací tl. 40 (viz. Obr. 13, odkaz 13). Izolace je nalepena na krycí nerezový plech tl. 0,5 (viz. Obr. 13, odkaz 14). Plech je přišroubován na podélné nosníky.

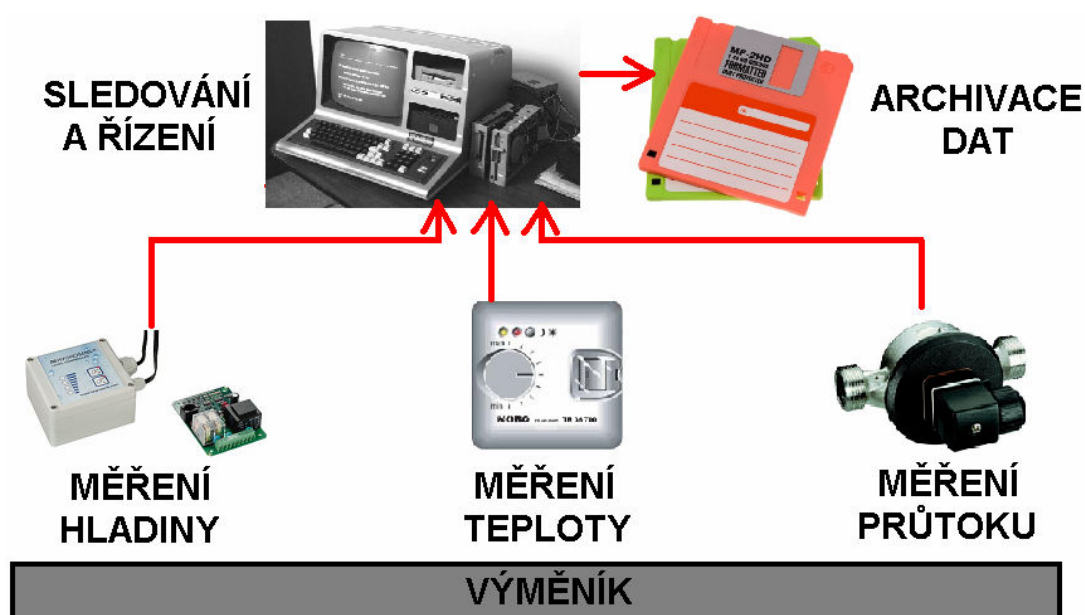


Obr. 13. Nosná konstrukce a izolace výměníku

Nosná konstrukce

Výměník je zavěšen pod nosnou konstrukcí, která umožňuje jeho klopení. Horizontální nosník je profil H 220 (viz. Obr. 13, odkaz 15), který je přišroubován k podélným nosníkům výměníku (viz. Obr. 13, odkaz 16). Na konci je otvor pro otočný čep a čep hydraulického válce (viz. Obr. 13, odkaz 17). Válec je vybrán z katalogu výrobce podle zatížení, které přenáší. Zároveň je možno na něm nastavit pracovní dorazy, takže při sklopené poloze nejsou potřeba další opěrné body. Vertikální stojina (viz. Obr. 13, odkaz 18) se skládá ze dvou svařených profilů U 270 a 40 mm výztuží. Je pevně uchycena do betonových základů podlahy haly. Návrh šroubů, které spojují podélné profily a horizontální nosník, bude řešen ve výpočtové části.

Schéma způsobu měření, řízení a archivace veličin



Obr. 14. Schéma způsobu měření, řízení a archivace veličin

Výpočty

Výpočty provádím pro maximální hodnoty teplot a rozměrů. Z důvodu nadimenzování pro maximální teplotní zatížení. Dále pro střední hodnotu teploty vývalku pod výměníkem, jako průměrné provozní zatížení.

Vstupní hodnoty:

- Maximální rozměry plechu: 9000x3600 mm.
- Maximální teplota: (viz str. 10) chladnutí z tep. 935 °C na 735 °C po dobu 600 s.
- Výpočtová teplota vody v nádrži 45 °C (při 45 °C se vypíná chladicí okruh TUV a je pravděpodobné, že další ohřev bude začínat při této teplotě).
- Pro výpočet volím: Teplota TUV na vstupu 20 °C, na výstupu 45 až 60 °C.

- **Teplný tok vývalku na výměník P_1** , (viz. Obr. 20)

Vzorový výpočet tepelného toku za 1 sekundu pro maximální hodnotu, při $\tau = 1$ s

$$\begin{aligned} P_{\tau=1} &= \varepsilon \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \cdot S_{vyv} \cdot \varphi_{12} = \\ &= 0,62 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{1208,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{318,15}{100} \right)^4 \right] \cdot 32,4 \cdot 0,76 = \underline{\underline{1835368,5 \text{ W}}} \end{aligned} \quad (1)$$

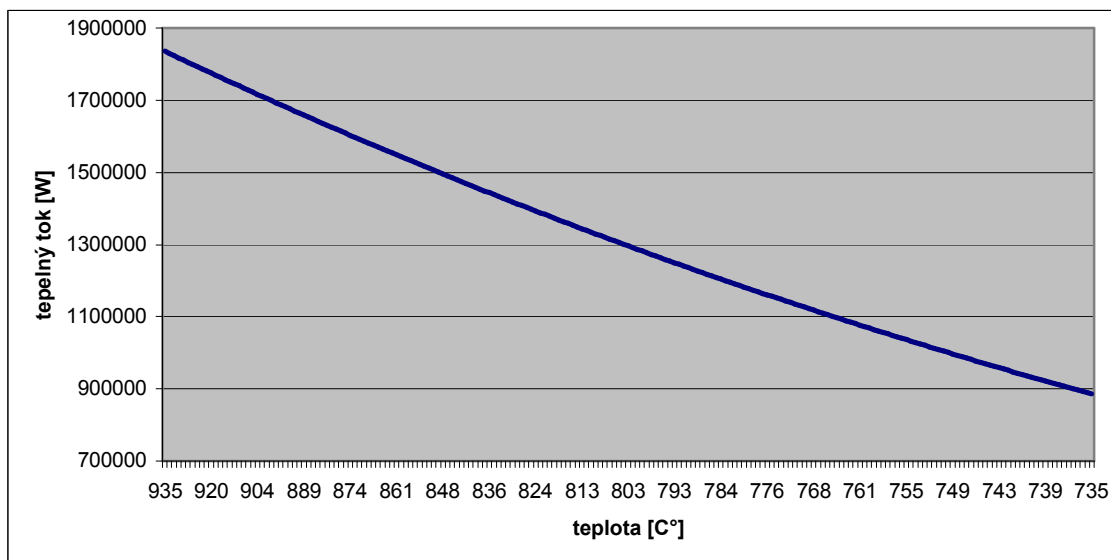
Vzorový výpočet tepelného toku za 1 sekundu pro maximální hodnotu, při $\tau = 300$ s

$$\begin{aligned} P_{\tau=300} &= \varepsilon \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \cdot S_{vyv} \cdot \varphi_{12} = \\ &= 0,62 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{1108,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{318,15}{100} \right)^4 \right] \cdot 32,4 \cdot 0,76 = \underline{\underline{1296483 \text{ W}}} \end{aligned}$$

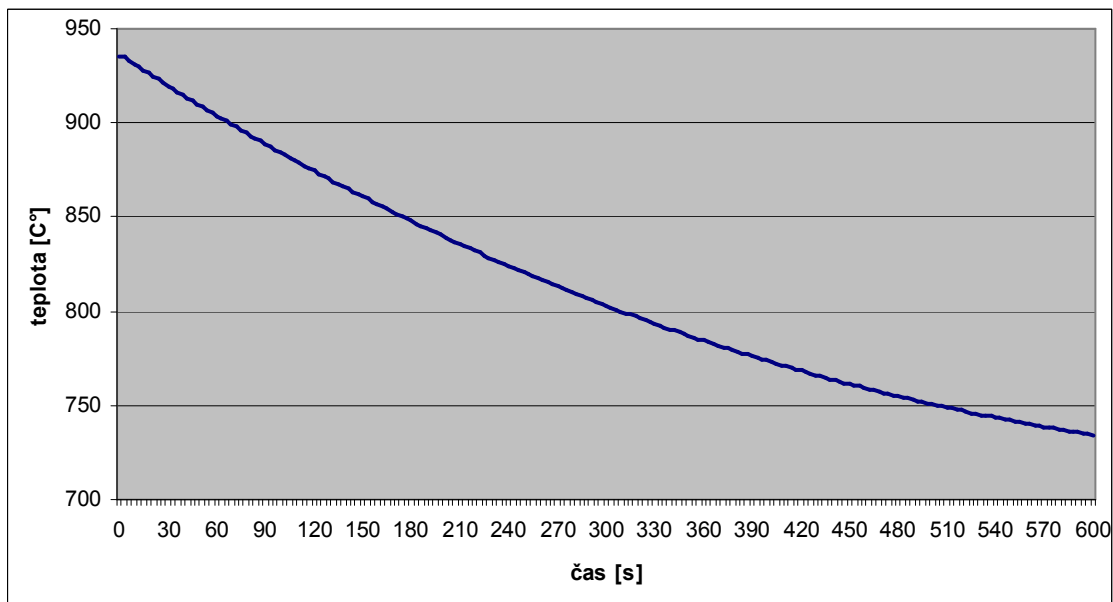
ε ...součinitel poměrné pohltivosti (3), C_0 ...součinitel záření absolutně černého tělesa [6], T_1 ...teplota vývalku, T_2 ...teplota teplosměnné plochy výměníku, φ_{12} ...úhlový součinitel přenosu tepla zářením (4), S_{vyv} ...plocha vývalku (2)

Tab. 3. Tepelný tok vývalku na výměník

	Hodnota	Jednotka
Maximální	1835368,5	W
Střední	1296483	



Obr. 15. Tepelný tok max. vývalku na výměník



Obr. 16. Ochlazení max. vývalku v čase

Plocha max. vývalku

$$S_{vyv} = b \cdot l = 3,6 \cdot 9 = 32,4 \text{ m} \quad (2)$$

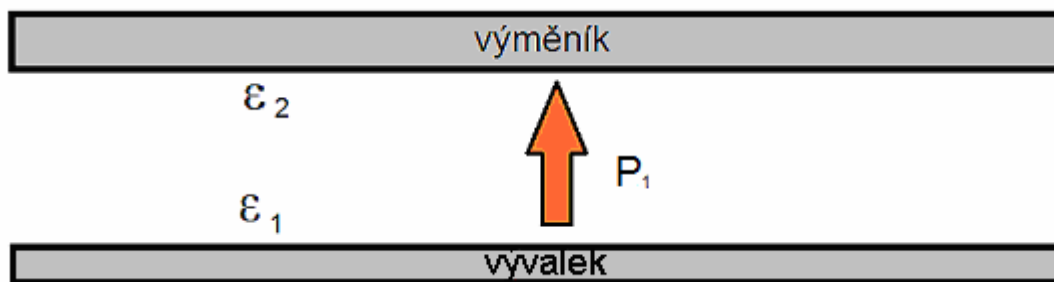
b ...šířka vývalku, l ...délka vývalku

Celkový součinitel poměrné pohltivosti

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,73} + \frac{1}{0,8} - 1} = 0,62 [-] \quad (3)$$

ε_1 ...součinitel poměrné pohltivosti pro vývalek [5],

ε_2 ...součinitel poměrné pohltivosti pro nerezový výměník [5]



Obr. 17. Schéma prostupu tepla

Úhlový součinitel přenosu tepla zářením

$$\overline{12} = \left[(b^2 + h^2)^{0,5} - h \right] \cdot l = \left[(3,6^2 + 1^2)^{0,5} - 1 \right] \cdot 9 = 24,62 [-] \quad (4)$$

$$\varphi_{12} = \frac{\overline{12}}{b \cdot l} = \frac{24,62}{3,6 \cdot 9} = 0,76 [-]$$

b ...šířka vývalku, l ...délka vývalku, h ...mezera mezi vývalkem a výměníkem

Celkový tepelný výkon max. vývalku

Je součet všech tepelných toků vývalku během zhládnutí.

$$Q = \Sigma P_{\tau} = 264912601,9 J \quad (5)$$

- **Výpočet součinitele přestupu tepla α_1**

Hustota radiačního toku vývalku na výměník

$$q = \frac{P_{\tau=1}}{S_{\text{vým}}} = \frac{1835368,5}{36} = 50982,45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (6)$$

$P_{\tau=1}$...tepelný tok vývalku (1), $S_{\text{vým}}$...osálaná plocha výměníku (7)

Tab. 4. Hustota radiačního toku

	Hodnota	Jednotka
Maximální	50982,45	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Střední	36013,41	

Osálaná plocha výměníku

$$S_{\text{vým}} = b \cdot l = 4 \cdot 9 = 36 \text{ m} \quad (7)$$

b ...šířka výměníku, l ...délka výměníku

Součinitel přestupu tepla (viz. Obr. 20)

$$\alpha_1 = \frac{q}{T_1 - T_2} = \frac{50982,45}{1208,15 - 318,15} = \underline{\underline{57,28 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad (8)$$

q ...hustota radiačního toku na výměník (6), T_1 ...teplota vývalku, T_2 ...teplota teplosměnné plochy výměníku

Tab. 5. Součinitel přestupu tepla α_1

	Hodnota	Jednotka
Maximální	57,28	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Střední	45,58	

- **Výpočet součinitele přestupu tepla α_2**

Hmotnostní průtok kanálů

$$\dot{m} = \frac{P_{\tau=1}}{c_p \cdot (t_1 - t_2)} = \frac{1835368,5}{4180 \cdot (60 - 45)} = 29,27 \text{ Kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (9)$$

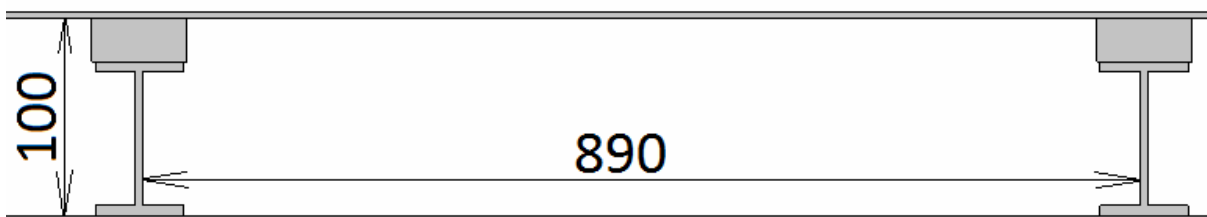
$P_{\tau=1}$... tepelný tok vývalku (1), c_p ... měrná tepelná kapacita vody pro 45°C [5],

t_1 ... maximální teplota v nádrži, t_2 ... minimální teplota v nádrži

Průtočná plocha kanálů

$$S_{\text{průr}} = h \cdot l = 0,1 \cdot 0,89 = 0,089 \text{ m}^2 \quad (10)$$

h ... výška kanálu, l ... délka kanálu



Obr. 18. Průřez kanálem

Hmotnostní průtok jednoho kanálu

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{m}}{n} = \frac{29,27}{10} = 2,93 \text{ Kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (11)$$

\dot{m} ... hmotnostní průtok kanálů (9), n ... počet kanálů

Hydraulický průřez kanálu

$$D_h = \frac{4 \cdot S}{O} = \frac{4 \cdot l \cdot h}{2 \cdot (l + h)} = \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 0,89}{2 \cdot (0,1 + 0,89)} = 0,18 \text{ m} \quad (12)$$

h ...výška kanálu, l ...délka kanálu

Průtočná rychlost kanálu

$$w = \frac{\dot{m}_1}{\rho \cdot S_{prût}} = \frac{2,927}{990 \cdot 0,089} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (13)$$

\dot{m}_1 ...hmotnostní průtok jednoho kanálu (11), ρ ...hustota vody pro 45°C [5],

$S_{prût}$...průtočná plocha kanálu (10)

Doporučená hodnota proudění média v kanálech se dle [3] pohybuje od 0,5 do 1,5 m·s⁻¹. **Volím proto rychlost na 0,5 m·s⁻¹.** (14)

Návrh čerpadla pro požadovanou rychlost média v kanálu

$$Q_{\check{c}} = w \cdot S_{prût} = 0,5 \cdot 0,089 = 4,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (15)$$
$$Q_{\check{c}} = 16,02 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

w ...průtočná rychlost kanálu (14), $S_{prût}$...průtočná plocha kanálu (10)

Pro požadovaný průtok volím čerpadlo **WILO TOP-S 40/7 230V**. [11]



Obr. 19. Zvolené čerpadlo

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{w \cdot D_h}{\nu} = \frac{0,5 \cdot 0,18}{0,6 \cdot 10^{-6}} = 150000 [-] \quad (16)$$

w průtočná rychlost kanálu (14), D_h ...hydraulický průřez (12), ν ...kinematická viskozita pro 45°C [5]

Nuseltovo číslo

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 150000^{0,8} \cdot 3^{0,43} \cdot \left(\frac{3}{4} \right)^{0,25} = 433,53 [-] \quad (17)$$

Re ...Reynoldsovo číslo (16), Pr ...Prandtlovo číslo pro 60°C [5], Pr_s ...Prandtlovo číslo pro 45°C [5]

Součinitel přestupu tepla, (viz. Obr. 20)

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_h} = \frac{433,53 \cdot 0,63}{0,18} = \underline{\underline{1517,35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad (18)$$

Nu ...Nuseltovo číslo (17), λ ...součinitel tepelné vodivosti pro 45°C [5],
 D_h ...hydraulický průřez (12)

Součinitel prostupu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{57,28} + \frac{0,003}{15,3} + \frac{1}{1517,35}} = 54,61 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (19)$$

α_1 ...součinitel přestupu tepla (8), α_2 ...součinitel přestupu tepla (18), l ...tloušťka nerezového plechu, λ ...součinitel tepelné vodivosti nerezového plechu 17 240 [5]

Tab. 6. Součinitel přestupu tepla α_2

	Hodnota	Jednotka
Maximální	54,61	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
Střední	43,87	

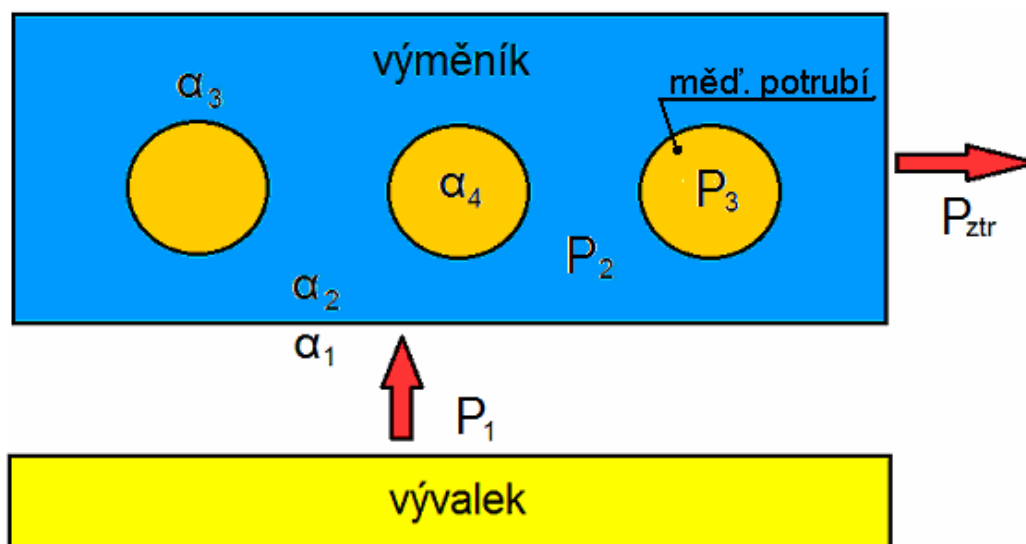
Tepelný tok ve vodě P_2 , (viz. Obr. 20)

$$P_2 = k \cdot S_{vým} \cdot (T_1 - T_2) = 54,6 \cdot 36 \cdot (1208,15 - 318,15) = \underline{\underline{1749384 \text{ W}}} \quad (20)$$

k ...součinitel prostupu tepla (19), $S_{vým}$...osálaná plocha výměníku (7), T_1 ...teplota vývalku, T_2 ...teplota vody v nádrži

Tab. 7. Tepelný tok ve vodě

	Hodnota	Jednotka
Maximální	1749384	W
Střední	1247665,6	



Obr. 20. Schematické znázornění výměníku

- **Kontrola teploty na vnitřní straně plechu výměníku**

Z hlediska bezpečnosti je nejdůležitější, aby na vnitřní straně výměníku nedocházelo k místnímu varu. Tím by se materiál zahřál na teplotu, která by negativně ovlivnila jeho životnost. Jako kritickou teplotu stanovují 363,15 K (90°C).

Při zpětné kontrole dosadím místo P_2 hodnotu P_{\max} , což je tepelný tok bez úhlového součinitele φ_{12} . To nám simuluje maximální možnou hodnotu bez tepelných ztrát vlivem vzdálenosti obou ploch.

$$P_{\max} = \frac{P_{\tau=1}}{\varphi_{12}} = \frac{1835368,5}{0,76} = 2414932,2 \text{ W} \quad (21)$$

$$P_{\max} = k \cdot S_{\text{vým}} \cdot (T_1 - T_2) \Rightarrow k = \frac{P_{\max}}{S_{\text{vým}} \cdot (T_1 - T_2)} =$$

$$= \frac{2414932,2}{36 \cdot (1208,15 - 318,15)} = 75,37 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (22)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \Rightarrow \alpha_1 = \frac{1}{\frac{1}{k} - \frac{l}{\lambda} - \frac{1}{\alpha_2}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{75,37} - \frac{0,003}{15,3} - \frac{1}{1517,35}} = 79,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (23)$$

$$\alpha_1 = \frac{q}{T_1 - T_3} \Rightarrow T_3 = T_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 1208,15 - \frac{67081,45}{79,3} = \underline{\underline{362,25 \text{ K}}} \quad (24)$$

$P_{\tau=1}$... tepelný tok vývalku (1), φ_{12} ...úhlový součinitel, P_{\max} ...100% tepelný tok vývalku, k ...součinitel prostupu tepla (19), $S_{\text{vým}}$...osálaná plocha výměníku (7), α_1 ...součinitel přestupu tepla (8), α_2 ...součinitel přestupu tepla (18), l ...tloušťka nerezového plechu, λ ...součinitel tepelné vodivosti nerezového plechu 17 240 [5], T_1 ...teplota vývalku, T_2 ...teplota vody v nádrži, T_3 ...teplota nerezového plechu

Teplota osálaného plechu je v přijatelných hodnotách.

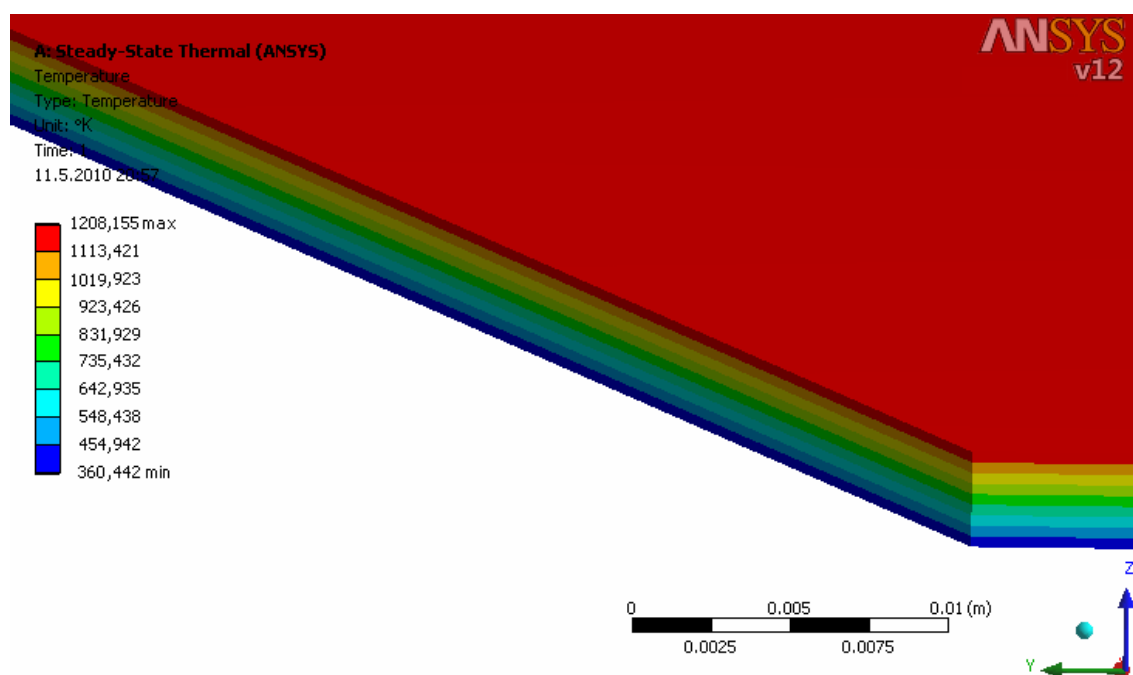
Kontrola teploty na vnitřní straně plechu výměníku pomocí MKP

Pro výpočet teplotního pole použiji program ANSYS 12.

Tab. 8. Okrajové podmínky výpočtu

Object Name	Convection 2	Convection
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Convection	
Film Coefficient	1517,3 W/m²·°K (ramped)	75,3 W/m²·°K (ramped)
Ambient Temperature	318,15 °K (ramped)	1208,15°K (ramped)
Suppressed	No	

Výsledek:



Obr. 21. Výsledek teplotního výpočtu

Teplota osálaného plechu je v přijatelných hodnotách.

- **Výpočet tepelných ztrát P_{ztr}**

Celý výměník by měl být opatřen tepelnou izolací z důvodu minimalizace tepelných ztrát. Proto na horní a boční stěny volím tepelnou izolaci tl. 40mm [10]. Izolace je nalepena na nerezový krycí plech tl. 0,5mm, který slouží k ochraně proti vnějším vlivům. Plech je přišroubován na nosníkovou konstrukci (viz. Obr. 13).

Součinitel prostupu ztrátového tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3}} = \frac{1}{\frac{1}{1517,35} + \frac{0,0005}{15,3} + \frac{0,04}{0,035} + \frac{0,0045}{80}} = 0,87 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (25)$$

α_2 ...součinitel přestupu tepla (18), l_1 ...tloušťka krycího nerezového plechu,
 l_2 ...tloušťka tepelné izolace, l_3 ...tloušťka stěny, λ_1 ...součinitel tepelné vodivosti
 nerezového plechu 17 240 [5], λ_2 ...součinitel tepelné vodivosti izolace [10],
 λ_3 ...součinitel tepelné vodivosti ocele [5]

Proudění vzduchu kolem zařízení můžeme zanedbat.

Ztrátový tepelný tok, (viz. Obr. 20)

$$P_{ztr} = k \cdot S_{ztr} \cdot (T_1 - T_2) = 0,87 \cdot 38,6 \cdot (325,15 - 300,15) = \underline{\underline{840 \text{ W}}} \quad (26)$$

k ...součinitel ztrátového prostupu tepla (25), S_{ztr} ...plocha bočních a horní plochy
 výměníku (27), T_1 ...střední teplota vody, T_2 ...střední teplota prostředí

Plocha bočních a horní plochy výměníku

$$\begin{aligned} S_{ztr} &= (2 \cdot h \cdot l) + (2 \cdot h \cdot b) + (1 \cdot b \cdot l) = \\ &= (2 \cdot 0,1 \cdot 9) + (2 \cdot 0,1 \cdot 4) + (1 \cdot 4 \cdot 9) = 38,6 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (27)$$

h ...výška výměníku, l ...délka výměníku, b ...šířka výměníku

- **Výpočet součinitele přestupu tepla α_3**

Vzorec pro obtékání průběžného svazku trubek:

Nuseltovo číslo

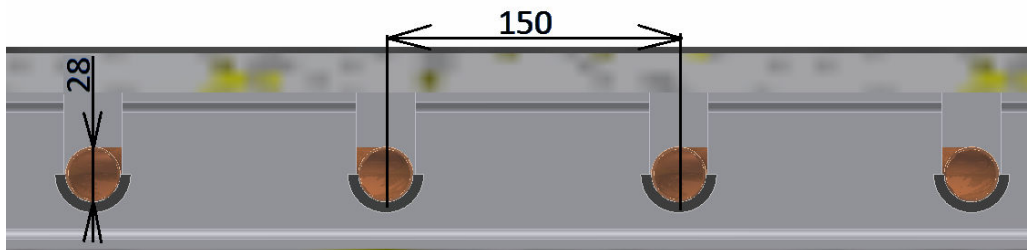
$$Nu = 0,26 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr'} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_s =$$

$$= 0,26 \cdot 150000^{0,65} \cdot 3^{0,33} \cdot \left(\frac{3}{4} \right)^{0,25} \cdot 0,78 = 627,69 [-] \quad (28)$$

Re ...Reynoldsovo číslo (16), PrPrandtlovo číslo pro 60°C [5], Pr' ...Prandtlovo číslo pro 45°C [5], ε_s ...opravný součinitel pro svazek trubek (29)

$$\varepsilon_s = \left(\frac{l}{d} \right)^{-0,15} = \left(\frac{0,15}{0,028} \right)^{-0,15} = 0,78 [-] \quad (29)$$

l ...osová rozteč potrubí (viz. Obr. 22), d ...vnější průměr potrubí (viz. Obr. 22)



Obr. 22. Řez výměníkem

Součinitel přestupu tepla, (viz. Obr. 20)

$$\alpha_3 = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_h} = \frac{627,69 \cdot 0,64}{0,18} = \underline{\underline{2231,78 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad (30)$$

Nu ...nuseltovo číslo (28), λ ...součinitel tepelné vodivosti pro 45°C [5],

D_h ...hydraulický průřez kanálu (12)

- **Výpočet tepelného toku v měděném potrubí P_3**

Rychlost vody v potrubí má konstantní rychlost, navrženou podle maximálního tepelného zatížení. Jak už bylo uvedeno, systém funguje na principu, kdy termostat spíná okruh při teplotě vody ve výměníku 50°C a vypíná při teplotě vody v měděném potrubí 45°C.

Hmotnostní průtok měděného potrubí

$$\dot{m} = \frac{P_2 - P_{ztr}}{c_p \cdot (T_1 - T_2)} = \frac{1749384 - 840}{4180 \cdot (318,15 - 293,15)} = 16,78 \text{ Kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (31)$$

P_2 ...tepelný tok ve vodě (20), P_{ztr} ...ztrátový tepelný tok ve vodě (26), c_p ...měrná tepelná kapacita vody pro 40°C [5], T_1 teplota vody na výstupu z výměníku, T_2 ...teplota vody na vstupu do výměníku

Hmotnostní průtok jedné trubky

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{m}}{n} = \frac{16,78}{25} = 0,671 \text{ Kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (32)$$

\dot{m} ...hmotnostní průtok (31), n ...počet kanálů

Průtoková rychlost jednou trubicou

$$w = \frac{\dot{m}_1}{\rho \cdot S_{prüt}} = \frac{0,671}{995,6 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4}} = 1,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (33)$$

\dot{m}_1 ...hmotnostní průtok jednoho kanálu (32), ρ ...hustota vody pro 30°C [5], $S_{prüt}$...průtočná plocha potrubí (34)

Průtočná plocha potrubí

$$S_{průt} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,026^2}{4} = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (34)$$

d ...vnitřní průměr potrubí

Volím potrubí EN 12735-1, rozměr 28x1 [12]

Reynoldsovo číslo

$$\text{Re} = \frac{w \cdot D_h}{\nu} = \frac{1,27 \cdot 0,026}{0,6 \cdot 10^{-6}} = 55033,33 [-] \quad (35)$$

w ...průtoková rychlost kanálu (33), D_h ...hydraulický průřez (36), ν ...kinematická viskozita pro 45°C [5]

Hydraulický průřez potrubí

$$D_h = d = 0,026 \text{ m} \quad (36)$$

d ...vnitřní průměr potrubí

Nuseltovo číslo

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} = 0,023 \cdot 153103^{0,8} \cdot 4^{0,4} = 248,34 [-] \quad (37)$$

Re ...Reynoldsovo číslo (35), Pr ...Prandtlovo číslo pro 45°C [5]

Součinitel přestupu tepla α_4 , (viz. Obr. 20)

$$\alpha_4 = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_h} = \frac{563 \cdot 0,63}{0,026} = \underline{\underline{6017,46 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad (38)$$

Nu ...Nuseltovo číslo (37), λ ...součinitel tepelné vodivosti pro 45°C [5],

D_h ...hydraulický průřez (36)

Součinitel prostupu tepla

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \alpha_3} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot \alpha_4}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,014 \cdot 2231,78} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 325} \cdot \ln \frac{0,013}{0,014} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,013 \cdot 6017,46}} = \quad (39) \\ &= 134,86 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

α_3 ...součinitel přestupu tepla (30), α_4 ...součinitel přestupu tepla (38), r_1 ...vnější

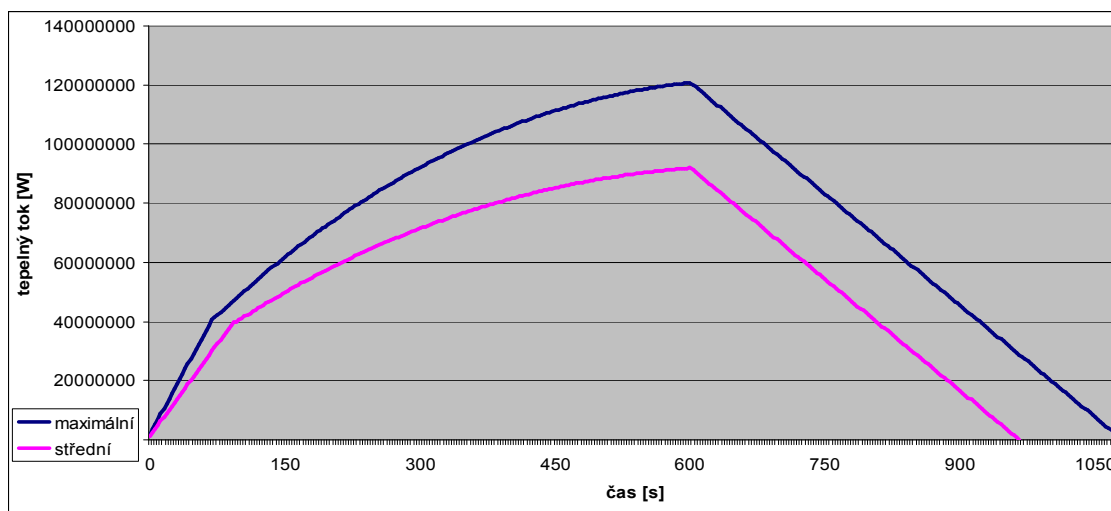
poloměr potrubí, r_2 ...vnitřní poloměr potrubí, λ ...součinitel tepelné vodivosti mědi [5]

Tepelný tok v měděném potrubí, (viz. Obr. 20)

$$P_3 = k \cdot l_{\text{vým}} \cdot (T_1 - T_2) = 134,86 \cdot 223,8 \cdot (318,15 - 293,15) = \underline{\underline{754541,7 \text{ W}}} \quad (40)$$

k ...součinitel prostupu tepla (39), $l_{\text{vým}}$...celková délka potrubí, T_1 ...teplota TUV na

výstupu, T_2 ...teplota TUV na vstupu



Obr. 23. Závislost tepelného toku vody ve výměníku na čase

V grafu je znázorněn průběh přírůstu tepelného toku v akumulční nádrži s vodou. V bodě 0 má teplota vody již 45°C. Jak již bylo uvedeno, při této teplotě se vypíná chladicí okruh a je pravděpodobné, že další ohřev bude začínat právě při této teplotě. První zlom v grafu je důsledkem nárůstu teploty vody na 50°C, při této teplotě se spouští chladicí okruh. Hodnoty jsou proto rozdíl tepelného toku vývalku a chladicího okruhu s TUV. Druhý lom je stav, kdy vývalek opouští pozici pod výměníkem. Tepelný tok vody klesá až na počáteční hodnotu 45°C, kdy se chladicí okruh vypne.

- **Kontrolní tepelná bilance**

Z rovnice musí vyjít rovnost tepelného toku v jednotlivých fázích.

$$\begin{aligned}
 P_{\tau=1} &= m_{H_2O} \cdot cp_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O} - P_{ZTR} = m_{TUV} \cdot cp_{TUV} \cdot \Delta T_{TUV} - P_{ZTR} \\
 1835368,5 &= 29,27 \cdot 4180 \cdot (333,15 - 318,15) - 840 = 16,78 \cdot 4180 \cdot (319,15 - 293,15) - 840 \\
 \underline{\underline{1835368,5}} &= \underline{\underline{1834389}} = \underline{\underline{1823650 [W]}}
 \end{aligned}
 \tag{41}$$

$P_{\tau=1}$...tepelný tok vývalku (1), m_{H_2O} ...hmotnostní průtok vody (9), cp_{H_2O} ...měrná tepelná kapacita vody pro 50°C [5], ΔT_{H_2O} ...střední teplota vody, m_{TUV} ...hmotnostní průtok TUV (31), cp_{TUV} ...měrná tepelná kapacita vody pro 40°C [5], ΔT_{TUV} ...střední teplota TUV, P_{ZTR} ...ztrátový tepelný tok (26)

Tepelná rovnice se zcela nerovná, to může být způsobeno zaokrouhlováním nebo součtem výpočetních chyb. Rozdíl tvoří pouze 0,6 %.

- **Množství vody ohřáté na teplotu odpovídající TUV**

$$V = S_{průr} \cdot w \cdot \tau = 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,27 \cdot 1080 = 0,727 \text{ m}^3 \Rightarrow 727 \text{ dm}^3 = \underline{\underline{727 \text{ l}}} \quad (42)$$

$S_{průr}$...průtočná plocha potrubí (34), w ...průtoková rychlost v potrubí (33),
 τ ...doba toku TUV (Obr. 23)

Tab. 9. Množství ohřáté vody

	Hodnota	Jednotka
Maximální	727	l
Střední	651	

- **Tlakové ztráty**

Vycházím z literatury [4]

- **Okruh potrubí s TUV**

Tab. 10. Ztrátový součinitel pro potrubí TUV

Součást	Počet	Celková ztráta [-]
Koleno ocel 90° [str. 62, obr. 22]	8x	2,08
Ohyb hadice [str. 62, obr. 23]	2x	0,13
Koleno měď [str. 62, obr. 23]	26x	3,38
celkem		5,59

Tlaková místní ztráta

$$\Delta p_M = \xi_c \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 5,59 \cdot \frac{1,27^2}{2} \cdot 990 = 4462,97 \text{ Pa} \quad (43)$$

ξ_c ...celkový ztrátový součinitel (Tab. 10), ρ ...hustota vody pro 45°C [5], w ...rychlost proudění (33)

Tlaková ztráta třením

$$\Delta p_{tr} = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \frac{L_k}{D_h} = 0,02 \cdot 990 \cdot \frac{1,27^2}{2} \cdot \frac{232,8}{0,026} = 142972,4 \text{ Pa} \quad (44)$$

$$\lambda = \frac{A}{Re^n} = \frac{0,316}{55033,33^{0,25}} = 0,02$$

λ ...třecí součinitel, ρ ...hustota vody pro 45°C [5], w ...rychlost proudění (33),

L_k ...délka kanálu, D_h ...hydraulický průřez (36), A, n ...součinitele pro hladké potrubí [4], Re ...reynoldsovo číslo (35)

Celková tlaková ztráta

$$\Delta p = \Delta p_M + \Delta p_{tr} = 4462,97 + 142972,4 = \underline{\underline{147435,37 \text{ Pa}}} \quad (45)$$

Δp_M ...tlaková místní ztráta (43), Δp_{tr} ...tlaková ztráta třením (44)

- Vnitřní okruh vody

Tab. 11. Ztrátový součinitel pro vnitřní potrubí

Součást	Počet	Celková ztráta [-]
Rozvaděč proudu [str. 67, obr. 22,23]	2x	4,1
Ohyb hadice [str. 62, obr. 22]	3x	0,29
Kolmé obtékání měděného potrubí [str. 71, obr. 58]	1x	0,14
celkem		4,53

Tlaková místní ztráta

$$\Delta p_M = \xi_c \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 4,53 \cdot \frac{0,5^2}{2} \cdot 990 = 560,58 \text{ Pa} \quad (46)$$

ξ_c ...celkový ztrátový součinitel (Tab. 11), ρ ...hustota vody pro 45°C [5],

w ...rychlost proudění (33)

Tlaková ztráta třením

$$\Delta p_{tr} = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \frac{L_k}{D_h} = 0,01 \cdot 990 \cdot \frac{0,5^2}{2} \cdot \frac{9}{0,18} = 61,87 \text{ Pa} \quad (47)$$

$$\lambda = \frac{A}{\text{Re}^n} = \frac{0,316}{150000^{0,25}} = 0,01$$

λ ...třecí součinitel, ρ ...hustota vody pro 45°C [5], w ...rychlost proudění (14),

L_k ...délka kanálu, D_h ...hydraulický průřez (12), A, n ...součinitele pro hladké potrubí [4], Re ...reynoldsovo číslo (16)

Celková tlaková ztráta

$$\Delta p = \Delta p_M + \Delta p_{tr} = 560,58 + 61,87 = \underline{\underline{622,45 \text{ Pa}}} \quad (48)$$

Δp_M ...tlaková místní ztráta (46), Δp_{tr} ...tlaková ztráta třením (47)

- **Hmotnost výměníku**

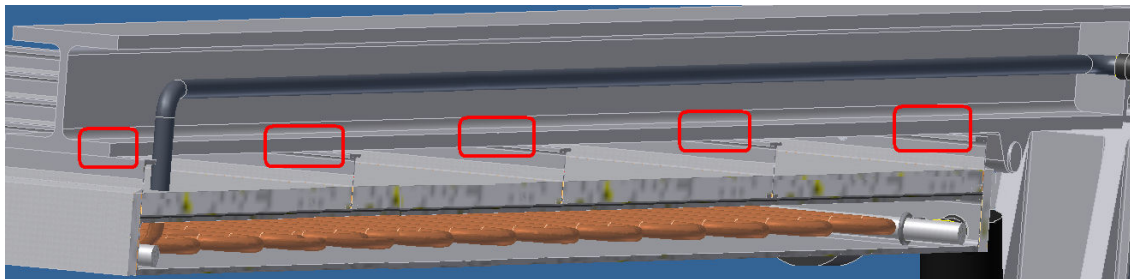
Tab.12. Hmotnost výměníku

Součást	Množství	Jednotková hm. [kg]	Celková hm. [kg]
nerezový plech tl.3	72 m ²	25,6	1840
nerezový plech tl. 0,5	38 m ²	2,9	110
nosníky + pásovina	107 m	6 - 9,8	1040
voda	3,47m ³	980	3400
čerpadlo + úchyt	10x	12	120
měděné potrubí	134 m	0,7	90
izolace	37 m ²	5,1	190
hadice	50 m	0,85	40
spojovací a ostatní materiál	-	-	170
celkem			7000

Výměník má celkovou hmotnost 7000 Kg, s touto hmotností počítám dál pro návrh nosníkových a spojovacích komponentů.

- **Výpočet šroubu spojující horizontální nosník a podélný profil**

Pro výpočet uvažuji rovnoměrné rozložení síly na počítané spoje.



Obr. 24. Vyznačení umístění počítaného spojení

Volím 40 šroubů M10, materiál 15230, Re=835 MPa [2]

- síla rovnoběžná s osou šroubu (rameno ve vodorovné poloze)

Osová síla

$$F_1 = \frac{F}{n} = \frac{m \cdot g}{n} = \frac{7000 \cdot 9,81}{40} = 1716,75 \text{ N} \quad (49)$$

m ...hmotnost výměníku (Tab. 12.), n ...počet šroubů

- síla kolmá k ose šroubu (rameno téměř ve vertikální poloze)

Osová síla

$$\begin{aligned} F_1 &\leq F_t \\ k \cdot F_1 &= F_o \cdot f \\ F_o &= \frac{k \cdot F_1}{f} = \frac{2 \cdot 1716,75}{0,6} = 5722,5 \text{ N} \end{aligned} \quad (50)$$

k ...bezpečnost prokluzu [1], f ...součinitel smykového tření [1], F_1 ...osová síla (49)

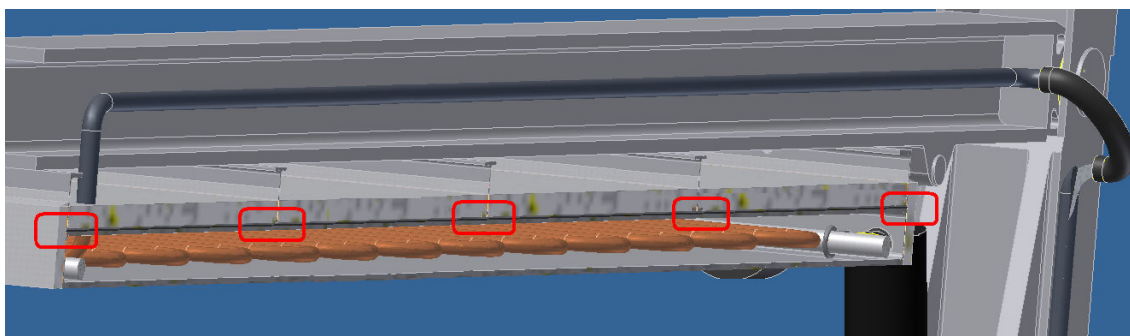
Napětí ve šroubu

Osová síla má max. hodnotu při zatížení kolmém na osu šroubu. Proto:

$$\sigma = \frac{F_1}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{5722,5}{\pi \cdot \left(\frac{9,38}{2}\right)^2} = \underline{\underline{82,81 \text{ MPa}}}$$
$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} = \frac{835}{10} = 83,5 \text{ MPa} \quad (51)$$
$$\sigma < \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje při bezpečnosti 10}$$

F_1 ...osová síla (50), d_3 ...velký průměr závitu [2], k ...bezpečnost, volím $k = 10$ [1]

- Výpočet šroubu spojující profily I 80 a podélné profily

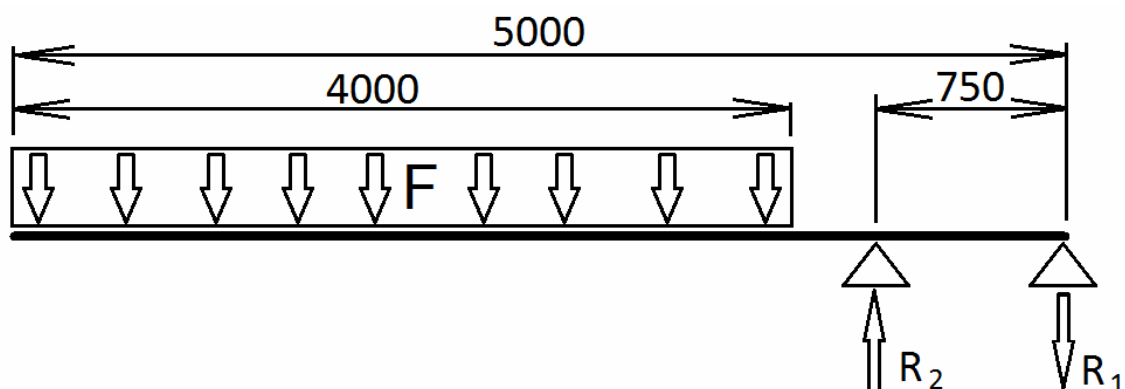


Obr. 25. Vyznačení umístění počítaného spojení

Volím 40 šroubů M10, materiál 15230, $R_e=835 \text{ MPa}$ [2]

Šroub můžeme považovat za vyhovující, šrouby totiž nesou menší zátěž při stejných provozních podmínkách.

Schematické zatížení jednoho nosníku



Obr. 26. Schematické zatížení jednoho nosníku

$$F = \frac{m \cdot g}{n} = \frac{7000 \cdot 9,81}{4} = 17167,5 \text{ N} \quad (52)$$

m ...hmotnost výměníku (Tab. 12.), n ...počet nosníků

Výpočet reakcí

$$x : -R_1 + R_2 - F \cdot 4 = 0$$

$$M : R_2 \cdot 0,75 - F \cdot 4(2 + 1) = 0$$

$$R_2 = \frac{F \cdot 12}{0,75} = \frac{17167 \cdot 12}{0,75} = \underline{\underline{274680 \text{ N}}} \quad (53)$$

$$R_1 = R_2 - F \cdot 4 = 274680 - 17167,5 \cdot 4 = \underline{\underline{206010 \text{ N}}}$$

• Výpočet čepu ramene

Materiál 11600.1 $F_1 = 206010 \text{ N}$

Re 600 MPa

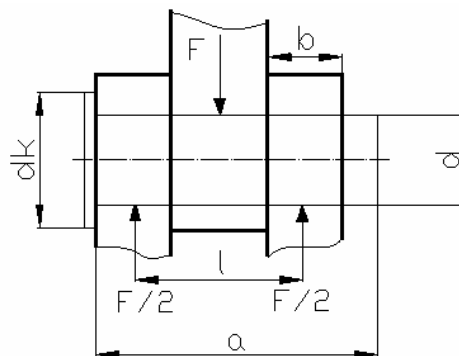
$l = 250 \text{ mm}$

$d_k = 120 \text{ mm}$

$d = 100 \text{ mm}$

$b = 29 \text{ mm}$

$a = 300 \text{ mm}$



Obr. 27. Schematické zatížení čepu

- Kontrola na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{F_1 \cdot l}{n \cdot 4}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{\frac{206010 \cdot 250}{4 \cdot 4}}{\frac{\pi \cdot 100^3}{32}} = \underline{\underline{32,78 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_D = \frac{Re}{k_s} = \frac{600}{10} = 60 \text{ MPa} \quad (54)$$

$$\sigma_o < \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

F_1 ... síla pôsobící na nosník (53), n ... počet čepů, d ... průměr čepu, k_s ... bezpečnost

- Kontrola na otlačení

$$p = \frac{\frac{F_1}{2}}{b \cdot d} = \frac{\frac{206010}{2}}{29 \cdot 100} = \underline{\underline{35,51 \text{ MPa}}}$$

$$p_D = 100 \text{ MPa} \quad [1] \quad (55)$$

$$p < p_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

F_1 ... síla pôsobící na nosník (53), b ... nejmenší otlačovaná plocha, d ... průměr čepu

- Výpočet čepu hydraulického válce

Materiál 16532	$F_2 = 274680 \text{ N}$
Re 1400 MPa	$l = 135 \text{ mm}$
	$d_k = 66 \text{ mm}$
	$d = 45 \text{ mm}$
	$b = 40 \text{ mm}$
	$a = 200 \text{ mm}$

○ Kontrola na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{F_2 \cdot l}{n \cdot 4}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{\frac{274680 \cdot 135}{4 \cdot 4}}{\frac{\pi \cdot 45^3}{32}} = \underline{\underline{259,06 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_D = \frac{Re}{k_s} = \frac{1400}{5} = 280 \text{ MPa} \quad (56)$$

$$\sigma_o < \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

F_1 ... síla působící na nosník (53), n ... počet čepů, d ... průměr čepu, k_s ... bezpečnost

○ Kontrola na otlačení

$$p = \frac{F_2}{b \cdot d} = \frac{274680}{40 \cdot 100} = \underline{\underline{34,33 \text{ MPa}}}$$

$$p_D = 100 \text{ MPa} \quad [1] \quad (57)$$

$$p < p_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

F_1 ... síla působící na nosník (53), b ... nejmenší otlačovaná plocha, d ... průměr čepu

• Výpočet těsnosti použitého těsnění

Při naklopení do téměř vertikální polohy působí na těsnění výměníku tlak

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 980 \cdot 9,81 \cdot 4 = \underline{\underline{38455,2 \text{ Pa}}}$$

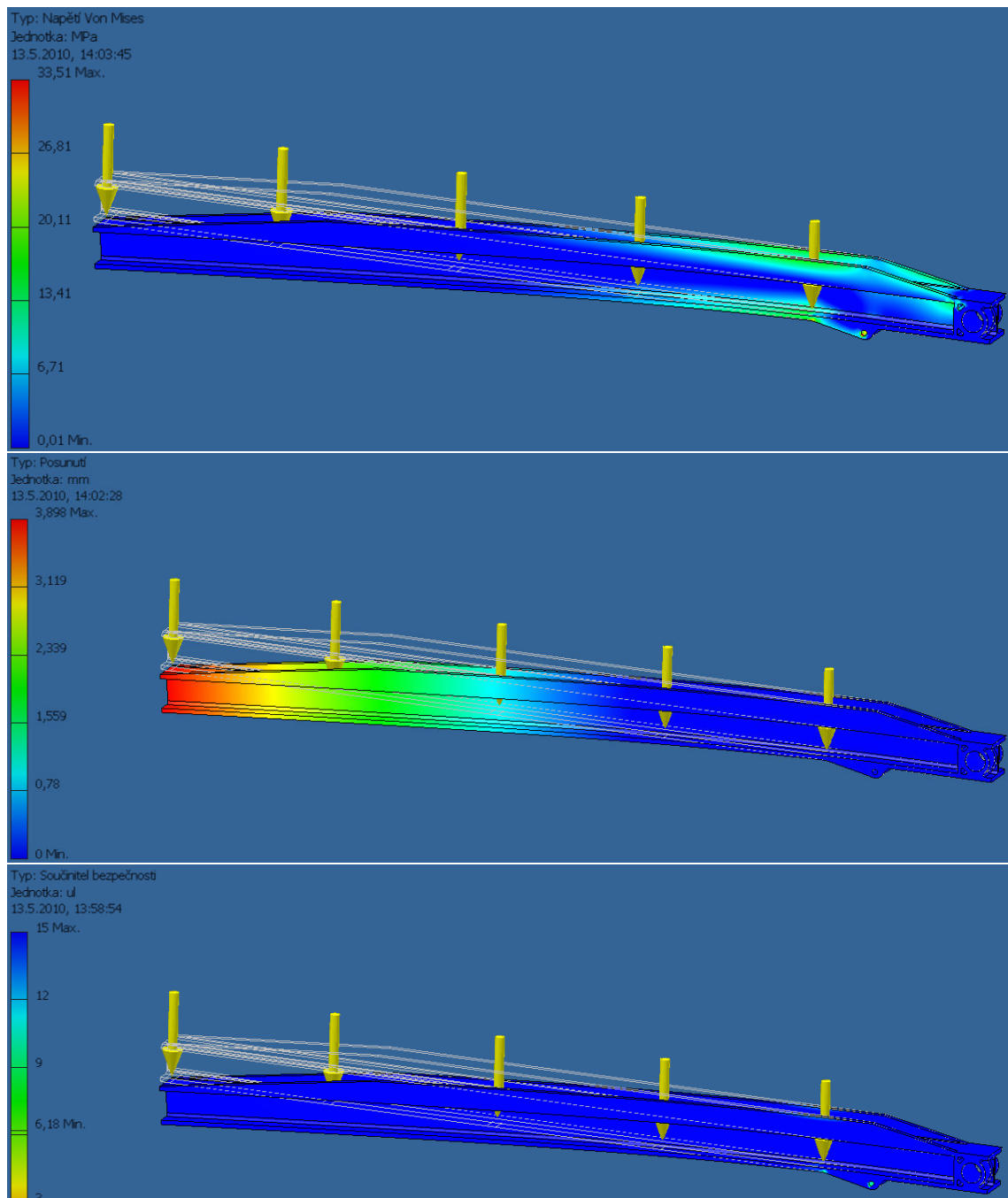
$$p_d = 800 \text{ bar} = 80 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad (58)$$

$$p_d > p \rightarrow \text{vyhovuje}$$

ρ ... hustota vody při 45°C, g ... tíhové zrychlení, h ... výška vodního sloupce,

p_d ... dovolený tlak od výrobce [9]

- Výpočet nosníku metodou MKP



Obr. 28. Výpočet nosníku metodou MKP

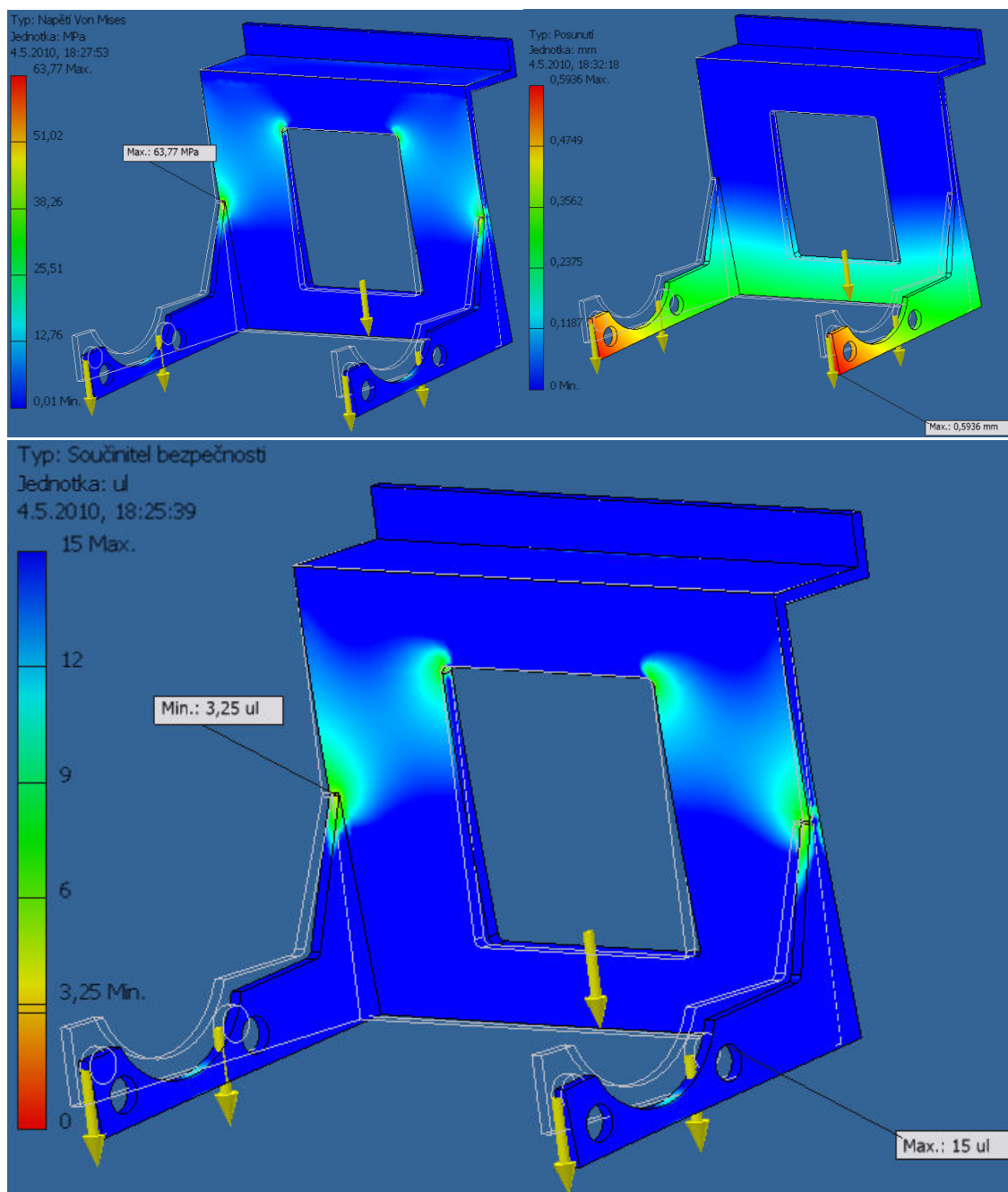
Pozinkovaná ocel:
Mez kluzu 207 MPa
Mez pevnosti 345 MPa

Maximální napětí – 33,51 MPa
Maximální prohnutí – 3,9 mm
Minimální součinitel bezpečnosti – 6,18

Pozn. Při výpočtech pomocí metody MKP, dochází k singularitám na ostrých hranách prvků – koncentrace napětí. Tyto singularity zkreslují výpočet neboť ve skutečnosti se

tyto napětí po počáteční deformaci rozloží na větší plochu, nebo dojde ke zpevnění materiálu a tím únosnosti.

- **Výpočet držáku čerpadla metodou MKP**

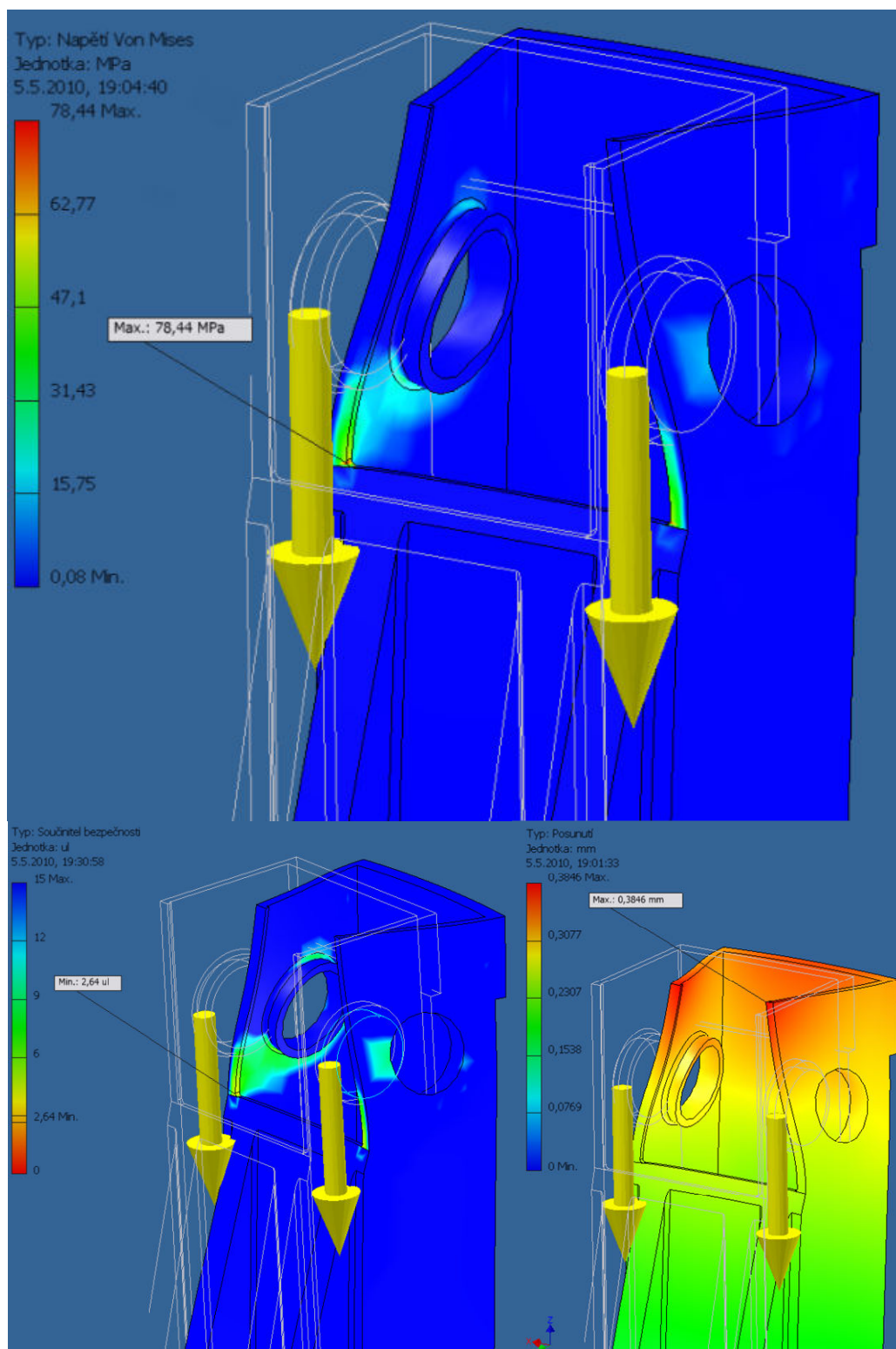


Obr. 29. Výpočet držáku čerpadla metodou MKP

Pozinkovaná ocel:
Mez kluzu 207 MPa
Mez pevnosti 345 MPa

Maximální napětí – 63,77 MPa
Maximální prohnutí – 0,59 mm
Minimální součinitel bezpečnosti – 3,25

- **Výpočet stojny metodou MKP**



Obr. 30. Výpočet stojny metodou MKP

Pozinkovaná ocel:
Mez kluzu 207 MPa
Mez pevnosti 345 MPa

Maximální napětí – 78,44 MPa
Maximální prohnutí – 0,38 mm
Minimální součinitel bezpečnosti – 2,64

Existující díly výměníku

- **Vnitřní okruh**

Hadice [8]

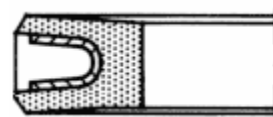
Je použita vně výměníku, slouží k cirkulaci vody, je připojena k oběhovému čerpadlu. Vnitřní průměr 40 mm. Konce hadice jsou nasunuty a zajištěny hadicovou sponou. Hadice je vhodná pro použití v daných podmínkách.



Obr. 31. Hadice

Těsnění [9]

Z materiálu PTFE. Těsnění použité při průchodu hadice bokem výměníku. Maximální těsnicí tlak 800 bar.



Obr. 32. Těsnění

Čerpadlo [11]

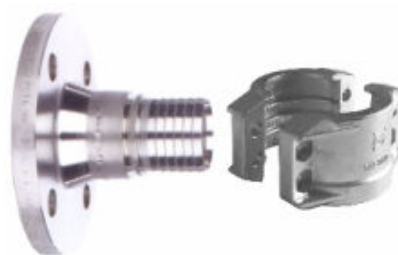
Připojení DN 40. Funkce ochrany motoru, signalizační a indikační funkce v případě poruchy.



Obr. 33. Čerpadlo

Příruba s hadicovým trnem [13]

Nerezová spojka čerpadlo - hadice DN 40, spojka má svorku na zajištění hadice.



Obr. 34. Příruba

- **Okruh s TUV**

Hadice [14]

Je použita jako pohyblivý spoj při otáčení horizontálního ramene. Vnitřní průměr 26 mm. Hadice je na obou koncích nasunuta na ocelové potrubí a zajištěna hadicovou sponou.



Obr. 35. Hadice

Ocelové tvarovky a potrubí [15]

Běžné závitové potrubí. Vnitřní průměr 26mm = 1"



Obr. 36. Ocelová tvarovka

Měděné tvarovky a potrubí [16]

Běžné měděné potrubí, určené pro pájení. Vnitřní průměr 26mm = 1"



Obr. 37. Měděná tvarovka

Izolace pro ocelové potrubí [17]

Pro potrubí průměru 1" má izolace vnější průměr 35 mm. Izolace je dostatečná pro krátké transportní vzdálenosti média.



Obr. 38. Izolace potrubí

○ Výměník

Tepelná izolace [10]

Pokrývá povrch výměníku, tl. 40 mm. Z materiálu kamenná vlna. Jedná se o protipožární izolaci, vhodnou pro toto použití.



Obr. 39. Izolace stěny

Teploměr [18]

Snímače jsou tvořeny plastovým pouzdem z polyamidu průměru 6 mm, ve kterém je umístěno čidlo teploty. Výměník má velkou plochu, proto bych čidla umístil do každého kanálu (celkem 10).



Obr. 40. Teploměr

Hladinoměr [19]

Pro kontrolu hladiny vody v nádrži. Měděné potrubí musí být stále pod hladinou vody. V opačném případě se rapidně snižuje chladicí výkon. Vodní hladina se může mezi kanály vyrovnávat, proto stačí použít jeden hladinoměr ve středu vodní plochy.



Obr. 41. Hladinoměr

Odvzdušňovací ventil [20]

Slouží jako pojistka při náhlém zvýšení tlaku. Nádrž s vodou je utěsněna a při ohřevu může teoreticky dojít k nebezpečnému nárůstu tlaku. Tlak se může mezi kanály vyrovnávat, proto stačí použít jeden tlakoměr. Ten by měl být umístěn na horní části výměníku u protilehlé strany od čerpadel.



Obr. 42. Ventil

Průtokoměr [21]

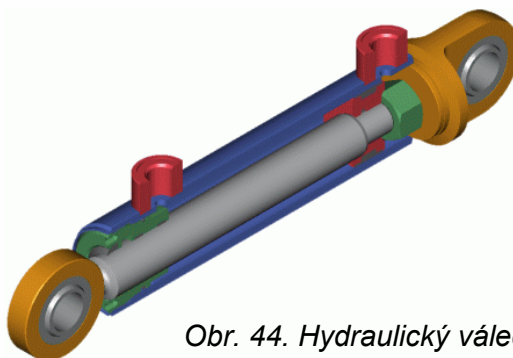
Měl by být umístěn na výstupním potrubí z výměníku. Umožní nám zjistit množství vyprodukované TUV a tím i úsporu energie.



Obr. 43. Průtokoměr

Hydraulický válec [22]

Základní řada dvojčinných hydraulických válců pro maximální pracovní tlak 21 MPa. Na válci lze nastavit dorazy zdvihu.



Obr. 44. Hydraulický válec

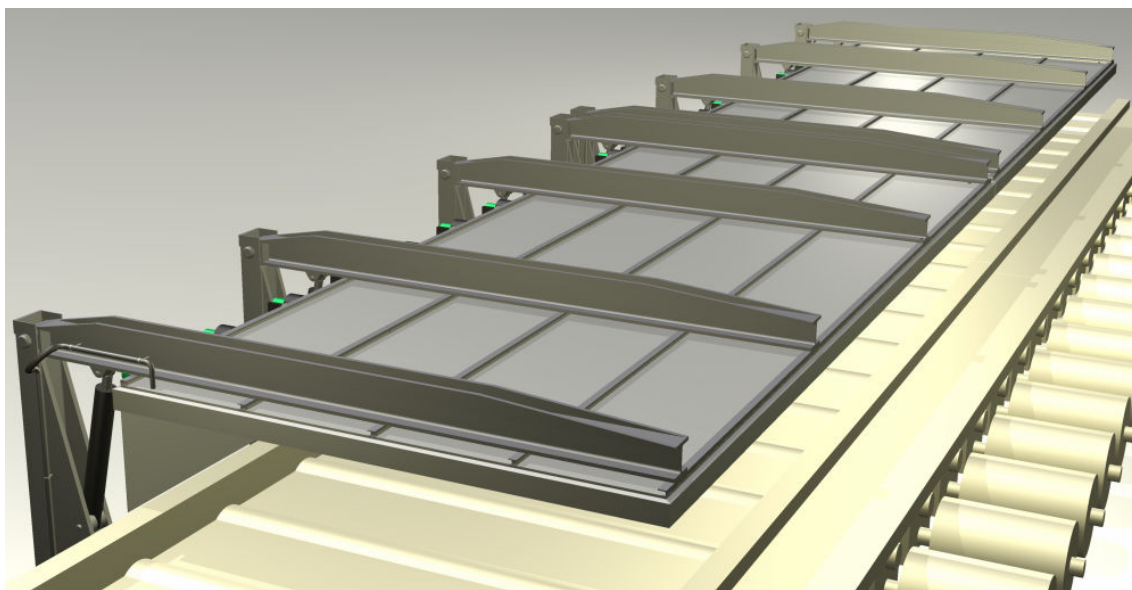
Tlakoměr [23]

Měří tlak vody ve výměníku a při zvýšené hodnotě upozorní obsluhu. Výstupní signál je 0 až 10V. Elektrické připojení je realizováno pomocí konektoru, do kterého je nutné připojit kabel.

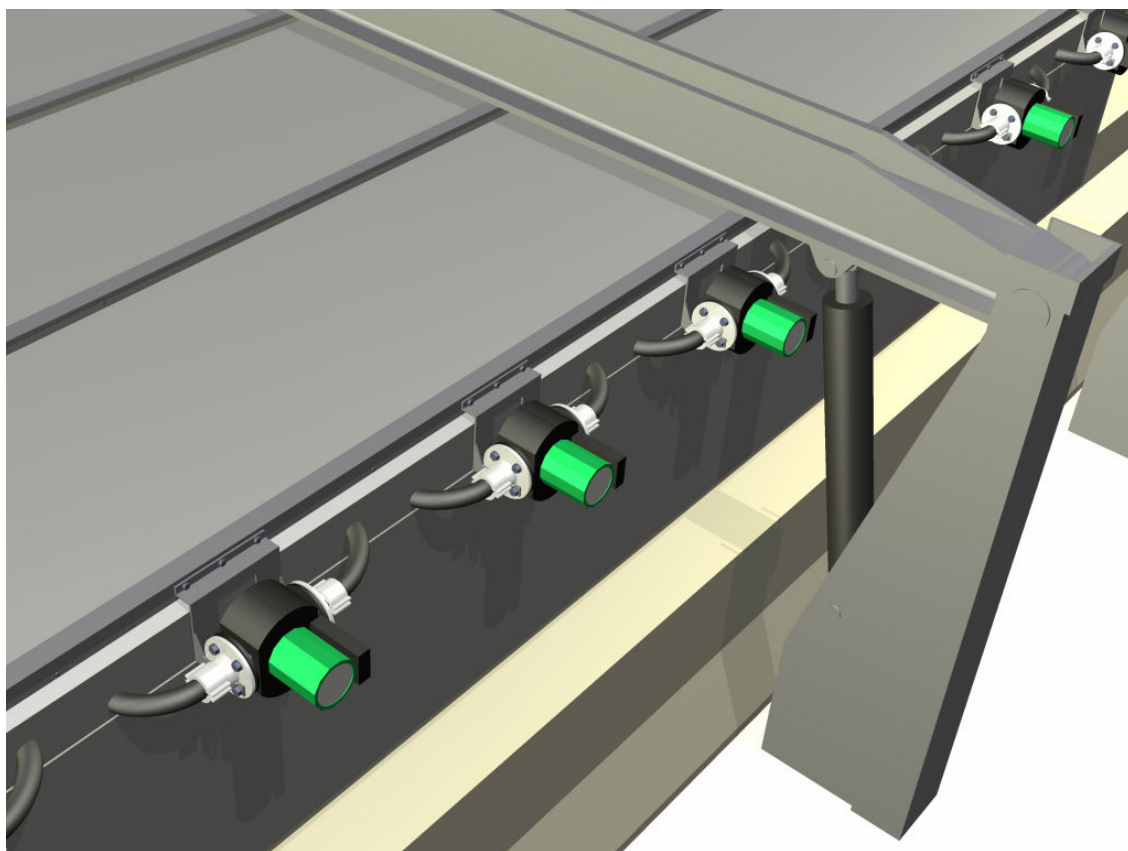


Obr. 45. Tlakoměr

Výsledný pohled na navrhované zařízení



Obr. 46. Výsledný pohled na navrhované zařízení 1



Obr. 47. Výsledný pohled na navrhované zařízení 2

Shrnutí a závěr

V diplomové práci jsem splnil všechny požadované úkoly. Při samotném návrhu jsem po konzultacích s firmou Evraz Vítkovice Steel a.s. a vedoucím diplomové práce, vybral variantu odpovídající zadání i potřebám firmy. Koncept, vyžadoval použití především nerezové ocele, pozinkovaných ocelových profilů, čerpadel, měděného potrubí a hydraulického zařízení. Výměník obsahuje všechny potřebné měřicí a indikační zařízení, které by v případě potřeby upozornily obsluhu a zamezily poškození samotného výměníku i okolních strojů.

Pevně věřím, že projekt by mohl mít velký potenciál i do budoucna vzhledem k jeho úspornému charakteru a rostoucí důležitosti ekologie.

Seznam literatury

- [1] Remta, F. Kupka, L., *Jeřáby I. Díl*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 1974
- [2] Vávra, P., *Strojnické tabulky*, pedagogické nakladatelství Úvaly, 2003,
ISBN 80-86490-74-2
- [3] Dvořák, Z., *Výměníky tepla*, ediční středisko ČVUT, Praha, 1983
- [4] Bálek, S., *Tepelně technické tabulky a diagramy*, Ostrava, 2005,
ISBN 80-248-0828-5
- [5] Hašek, P., *Tabulky pro tepelnou techniku*, Vysoká škola báňská, Ostrava, 1980
- [6] Hotel, H.C., *Přenos tepla zářením*, nakladatelství technické literatury, Praha, 1979
- [7] Cikart, J., Polanský, A., *Výměníky tepla v teplárenství*, 2. Vydání, Praha, 1976
- [8] *Instarbc.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-06]. Instar. Dostupné z WWW:
<<http://www.instarjbc.cz/obchod/pro-horkou-vodu-paru/tlakova-hadice-pro-horkou-vodu-a-chladici-kapaliny-radorflex-profi.html>>.
- [9] *Dimer.cz* [online]. 2001 [cit. 2010-05-06]. Dimer. Dostupné z WWW:
<http://www.dimer.cz/tesneni/ma-45_MA45.html>.
- [10] *Hrubastavba.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-05-06]. Hrubá stavba. Dostupné z WWW:
<http://www.hrubastavba.cz/izolace/kamenna-vlna/p/rockwool-airrock-hd-tl_40mm>
- [11] *Obchod.pumpa.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-06]. Pumpa e-shop. Dostupné z
WWW: <<http://obchod.pumpa.cz/zbozi/1221-wilo-top-s-40-7-230v-pn6-10>>.
- [12] *Ferona.cz* [online]. 2004 [cit. 2010-05-06]. Ferona. Dostupné z WWW:
<<http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=25505>>.
- [13] *Meters.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-06]. Meters. Dostupné z WWW:
<<http://www.meters.cz/shop/scripts/podrobnosti.php?IDZ=983>>.
- [14] *nstarbc.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-06]. Instar. Dostupné z WWW:
<<http://www.instarjbc.cz/obchod/pro-vodu-a-kapaliny/tlakova-hadice-pro-kapaliny-a-vzduch-aquaflat-multiflat-20.html>>.
- [15] *Instarbc.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-06]. Instar. Dostupné z WWW:
<<http://instarjbc.cz/obchod/pozinkovane.html>>.
- [16] *Instarbc.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-06]. Instar. Dostupné z WWW:
<<http://instarjbc.cz/obchod/medene-1.html>>.
- [17] *Topenilevne.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-06]. Topenílevně. Dostupné z WWW:
<<http://www.topenilevne.cz/topeni/tepelne-izolace-trubek/izolace-standard-do-90-st-c/mirelon-izolace-28-13mm/6304>>.

- [18] *Www.panelovameridla.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-05-15]. Panelová měřidla. Dostupné z WWW: <<http://www.panelovameridla.cz/panelovameridla/eshop/9-1-CIDLA-SNIMACE/2-2-Teplotni/5/55-Kabelove-teplotni-cidlo-plastove>>.
- [19] *Shop.conrad.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-05-06]. Conrad. Dostupné z WWW: <<http://shop.conrad.cz/websale7/Regulator-urovn%ec-pro-vodive-kapaliny.htm?Ctx=%7bver%2f7%2fver%7d%7bst%2f3eb%2fst%7d%7bcmd%2f0%2fcmd%7d%7bm%2fwebsale%2fm%7d%7bs%2fconrad%2dcz%2fs%7d%7bl%2f02%2daa%2fl%7d%7bmi%2fSHOP%5fAREA%5f14741%5f0231045%2fmi%7d%7bpi%2f156546%2fpi%7d%7bpo%2f5%2fpo%7d%7bsf%2f%3cs1%3eregul%e1tor%3c%2fs1%3e%2fsf%7d%7bp1%2f31aa57de783ffb7863d92f3c66875008%2fp1%7d%7bmd5%2fb1af775f75678c09c5446833e107b789%2fmd5%7d>>.
- [20] *Dumtechno.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-05-06]. Dům techno. Dostupné z WWW: <<http://www.dumtechno.cz/topenarsky-material/ventil-odvzdusnovaci-flexvent-3-8/>>
- [21] *Shop.conrad.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-05-06]. Conrad. Dostupné z WWW: <<http://shop.conrad.cz/websale7/Mosazny-pr%9tokom%ecr.htm?Ctx=%7bver%2f7%2fver%7d%7bst%2f3eb%2fst%7d%7bcmd%2f0%2fcmd%7d%7bm%2fwebsale%2fm%7d%7bs%2fconrad%2dcz%2fs%7d%7bl%2f02%2daa%2fl%7d%7bmi%2fSHOP%5fAREA%5f14741%5f0231810%2fmi%7d%7bpi%2f150189%2fpi%7d%7bpo%2f1%2fpo%7d%7bsf%2f%3cs1%3epr%9tokom%ecr%3c%2fs1%3e%3cs5%3e2%3c%2fs5%3e%2fsf%7d%7bp1%2f31aa57de783ffb7863d92f3c66875008%2fp1%7d%7bmd5%2fdeb0c94f830332d8722bf71f37896e78%2fmd5%7d>>.
- [22] *Axl.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-08]. Axl. Dostupné z WWW: <<http://www.axl.cz/vyroby/hydraulicke-valce/katalog-hydraulickyh-valcu/zakladni-rada-21-mpa.htm>>.
- [23] *Www.eshop.technoline.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-05-15]. Technoline. Dostupné z WWW: <<http://eshop.technoline.cz/produkt/1814-snimac-tlaku-thermokn-dlm4v-g14-0-10v-senzor-tlaku.html>>.

Přílohy

[1] Výkres sestavy	Sestava výměníku
[2] Výkres sestavy	Kompletační sestava
[3] CD	Diplomové práce

Grafické přílohy

- Obr. 1. Schéma válcovací stolice a tratě*
- Obr. 2. Stávající stav válcovací stolice a tratě*
- Obr. 3. Schematické znázornění varianty s Heat pipe výměníkem*
- Obr. 4. Schematické znázornění varianty s měděnými bloky*
- Obr. 5. Schematické znázornění varianty s použitím akumulčního média*
- Obr. 6. Funkční struktura*
- Obr. 7. Orgánová struktura*
- Obr. 8. Hrubá stavební struktura*
- Obr. 9. Schéma umístění výměníku*
- Obr. 10. Řez výměníkem*
- Obr. 11. Vedení potrubí pro TUV*
- Obr. 12. Řez výměníkem, pohled ze zdola*
- Obr. 13. Nosná konstrukce a izolace výměníku*
- Obr. 14. Schéma způsobu měření, řízení a archivace veličin*
- Obr. 15. Tepelný tok max. vývalku na výměník*
- Obr. 16. Ochlazení max. vývalku v čase*
- Obr. 17. Schéma prostupu tepla*
- Obr. 18. Průřez kanálem*
- Obr. 19. Zvolené čerpadlo*
- Obr. 20. Schematické znázornění výměníku*
- Obr. 21. Výsledek teplotního výpočtu*
- Obr. 22. Řez výměníkem*
- Obr. 23. Závislost tepelného toku vody ve výměníku na čase*
- Obr. 24. Vyznačení umístění počítaného spojení*
- Obr. 25. Vyznačení umístění počítaného spojení*
- Obr. 26. Schematické zatížení jednoho nosníku*
- Obr. 27. Schematické zatížení čepu*
- Obr. 28. Výpočet nosníku metodou MKP*
- Obr. 29. Výpočet držáku čerpadla metodou MKP*

Obr. 30. Výpočet stojny metodou MKP
 Obr. 31. Hadice
 Obr. 32. Těsnění
 Obr. 33. Čerpadlo
 Obr. 34. Příruba
 Obr. 35. Hadice
 Obr. 36. Ocelová tvarovka
 Obr. 37. Měděná tvarovka
 Obr. 38. Izolace potrubí
 Obr. 39. Izolace stěny
 Obr. 40. Teploměr
 Obr. 41. Hladinoměr
 Obr. 42. Ventil
 Obr. 43. Průtokoměr
 Obr. 44. Hydraulický válec
 Obr. 45. Tlakoměr
 Obr. 46. Výsledný pohled na navrhované zařízení 1
 Obr. 47. Výsledný pohled na navrhované zařízení 2

Tabulkové přílohy

Tab. 1. Morfologická matice
 Tab. 2. Orgánová struktura
 Tab. 3. Tepelný tok vývalku na výměník
 Tab. 4. Hustota radiačního toku
 Tab. 5. Součinitel přestupu tepla α_1
 Tab. 6. Součinitel přestupu tepla α_2
 Tab. 7. Tepelný tok ve vodě
 Tab. 8. Okrajové podmínky výpočtu
 Tab. 9. Množství ohřáté vody
 Tab. 10. Ztrátový součinitel pro potrubí TUV
 Tab. 11. Ztrátový součinitel pro vnitřní potrubí
 Tab. 12. Hmotnost výměníku